

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**KENTSEL MEKÂNIN PERFORMATİF ARAYÜZLERİ VE
BEDEN-MEKÂN ETKİLEŞİMİ BAĞLAMINDA
ÜRETKEN PİKSEL KAVRAMI**

YASİN KAĞAN ODABAŞI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI**

DANIŞMAN: DOÇ.DR. FİTNAT CİMŞİT KOŞ

ŞUBAT 2026

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**KENTSEL MEKÂNIN PERFORMATİF ARAYÜZLERİ
VE BEDEN-MEKÂN ETKİLEŞİMİ BAĞLAMINDA
ÜRETKEN PİKSEL KAVRAMI**

YASİN KAĞAN ODABAŞI

**YÜKSEK LİSANS
MİMARLIK ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN: DOÇ.DR. FİTNAT CİMŞİT KOŞ
II. DANIŞMAN: DOÇ.DR. SERNAZ DEMİREL TEMEL**

ŞUBAT 2026

T.C.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

**THE CONCEPT OF THE GENERATIVE PIXEL:
PERFORMATIVE INTERFACES OF URBAN SPACE
AND BODY-SPACE INTERACTION**

YASİN KAĞAN ODABAŞI

**A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ARCHITECTURE**

ADVISOR: ASSOC. PROF. DR. FİTNAT CİMŞİT KOŞ
Co-ADVISOR: ASSOC. PROF. DR. SERNAZ DEMİREL TEMEL

FEBRUARY 2026

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 27/01/2026 tarih ve 2026/07 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 12/02/2026 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Yasin Kağan ODABAŞI'nın tez çalışması Mimarlık Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Fitnat CİMŞİT KOŞ

ÜYE

(II. DANIŞMANI) : Doç. Dr. Sernaz DEMİREL TEMEL

ÜYE

: Prof. Dr. Cahide AYDIN İPEKÇİ

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Betül OZAR

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Zeynep BİRGÖNÜL MARTI BENET

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

*Her zaman yanımda olan
aileme ve gerçek dostlarıma...*

ÖZET

Mimari yüzeylerin beden kaynaklı verilerden yararlanarak karar durumu üretebilecek şekilde uygulanabilmesi, güncel hesaplamalı tasarım ekseninin yöntemsel zorluklarından biri olarak okunur. Bu çalışma, mekân yaklaşımını statik bir çerçeveden çıkararak, bedenın basınç, ısı ve hareket izleri üzerinden devingen bir arayüz mekanizması önerir. Bu hedef doğrultusunda önerilen “Üretken Piksel” tasarım stratejisiyle grid, temsilin tezahür eden anlam sınırlarından çıkarılarak, bedensel verilerle hücre ölçeğinde dönüşüm geçirerek tektonik parametrelerle yeniden biçimlenen operatif bir düzlem halini alır. Tezin kuramsal temellerinin kurulmasında Lefebvre’nin ritmanaliz yaklaşımı, Sloterdijk’in sferik mekân okumaları ve Laban’ın hareket analizi kurucu referans eksenleri olarak benimsenmiştir. Araştırma metodolojisinin oluşturulmasında Tasarım Yoluyla Araştırma yaklaşımına başvurularak, prototipleme ve geri beslemeli doğrulama hattı operatif bir şekilde yönetilir. Çalışma bağlamında ilerletilen ZMEK (Zon, Metrik, Eşik, Karar) hattı üzerinden izler, zon merkezinde toplanarak okunabilir metrikler (M) elde edilir. Takiben pencereleme, histerezis ve eşik bandı ilkeleriyle kararlı olay seçimleri (E) işletilir. Seçilmiş olan olaylar, Karar aileleriyle (K1-K4) ilişkilendirilerek yüzeyde gözlemlenebilir tektonik karşılıklarını bulurlar. Uygulama aşamasında hayata geçirilen fiziksel ve dijital prototipler, Rhinoceros 8, Grasshopper, Kangaroo Physics ve Arduino entegrasyonu vasıtasıyla test edilmiştir. Basınç ve ağırlık kanalları başta olmak üzere veri kaynaklarına dayanılarak geliştirilen modüler prototipte (v1), bant temelli eşikleme yaklaşımı sonucunda anlık dalgalanmalarda salınım sınırlanarak kararlı bir güncelleme ilkesinin üretildiği ortaya konmuştur. Birden fazla değişkenli (H, D, T) optimizasyon süreçleri, Galapagos üzerinden J amaç fonksiyonuyla gerçekleştirilmiştir. İlk jenerasyonlar üzerinden 0,40-0,45 aralığında değerlerle karşılaşılırken, 30. Jenerasyonda yaklaşık 0,84 uygunluk skoru gözlemlenmiştir. Elde edilen bu sonuç, çeşitlilik (H), üretilebilirlik (T) ve hedef uyumu (D) arasında denge durumuna evrimsel olarak yaklaştığını kanıtlar. Bu bağlamda yapılan tez çalışması, elde edilen bulgular ışığında grid’i beden verileriyle süregelen şekilde ayarlayan bir karar yüzeyi olarak yeniden yorumlayabilmektedir. Önerilen yaklaşım, ilerideki çalışmalarda kamusal bağlamlara genişletilerek, ölçeklenmeye açık potansiyel bir çerçeve olarak değerlendirilebilir.

Anahtar Kelimeler: Üretken Piksel, Beden-Mekân Etkileşimi, ZMEK Modeli, Eşik Bandı, Histerezis, Hesaplamalı Tasarım.

ABSTRACT

The implementation of architectural surfaces in a way that can generate decision states by utilizing body-derived data is read as one of the methodological challenges of the current computational design axis. This study takes the approach to space out of a static framework and proposes a dynamic interface mechanism through the traces of pressure, heat and movement of the body. With the “Generative Pixel” design strategy proposed in line with this goal, the grid is removed from the manifested meaning boundaries of representation and becomes an operative plane that is transformed at the cell scale with bodily data and reshaped with tectonic parameters. Lefebvre's approach to rhythm analysis, Sloterdijk's readings of spherical space and Laban's analysis of movement have been adopted as the founding axes of reference in establishing the theoretical foundations of the thesis. The Research through Design approach is used to establish the research methodology and the prototyping and feedback validation pipeline is managed in an operative way. Through the ZMEK (Zone, Metric, Threshold, Decision) line, which is advanced in the context of the study, the traces are collected at the zone center and readable metrics (M) are obtained. Subsequently, stable event selections (E) are executed with windowing, hysteresis and threshold band principles. The selected events are related to the Decision families (K1-K4) to find their observable tectonic counterparts on the surface. The physical and digital prototypes realized in the implementation phase were tested through Rhinoceros 8, Grasshopper, Kangaroo Physics and Arduino integration. In the modular prototype (v1), which was developed based on data sources, especially pressure and weight channels, it was demonstrated that a band-based thresholding approach produced a stable update policy by limiting the oscillation in instantaneous fluctuations. Multivariable (H, D, T) optimization processes were performed with the objective function J over Galapagos. While values in the range of 0.40-0.45 were observed over the first generations, a suitability score of approximately 0.84 was observed in the 30th generation. This result proves the evolutionary convergence towards a state of equilibrium between diversity (H), reproducibility (T) and goal congruence (D). In the light of the findings, this thesis reinterprets the grid as a decision surface that continuously adjusts with body data. The proposed approach is considered as a potential framework that is open to scaling and extension to public contexts in future studies.

Keywords: Generative Pixel, Body-Space Interaction, ZMEK Model, Threshold Band, Hysteresis, Computational Design.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının ortaya çıkmasında, eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ailemin katkısı çok büyüktür. Başta annem İlkur ODABAŞI'na, babam İhsan İlyas ODABAŞI'na ve yüksek mühendis abim Ahmet Tolga ODABAŞI'na her koşulda yanımda oldukları ve bana güç verdikleri için en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez sürecim boyunca bilgi, yönlendirme ve destekleriyle çalışmamın gelişimine önemli katkı sağlayan danışmanlarım Doç. Dr. Fitnat CİMSİT KOŞ ve Doç. Dr. Sernaz DEMİREL TEMEL'e değerli katkıları ve yapıcı geri bildirimleri için sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez jürimde yer alarak çalışmama zaman ayıran, değerlendirmeleri ve kıymetli katkılarıyla sürece destek veren Prof. Dr. Cahide AYDIN İPEKÇİ'ye, Dr. Öğr. Üyesi Betül OZAR'a ve Dr. Öğr. Üyesi Zeynep BİRGÖNÜL MARTI BENET'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca akademik hayatımda hem maddi hem manevi desteklerini eksik etmeyen Prof. Dr. Nur URFALIOĞLU'na çok teşekkür ederim.

Son olarak, süreç boyunca moral ve motivasyonumu yüksek tutmamda büyük payı olan, destekleri ve dostluklarıyla her zaman yanımda hissettiğim başta Can dostum Günay GÜNAY olmak üzere, değerli arkadaşlarım Şule UZ'a, Minesu BAŞTÜRK'e, Simin ONAY'a ve Karsel EĞİNCİ'ye içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLOLAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Arka Planı ve Problem Tanımı	2
1.2. Amaç, Araştırma Sorusu ve Hipotezler	3
1.3. Araştırma Yaklaşımı, Kapsam ve Sınırlılıklar	4
1.4. Operatif Sözlük	5
2. MEKÂNIN ÜRETİMİNDE BEDEN, RİTİM VE PERFORMATİF SÜREÇLER	7
2.1. Bedenin Tanımı ve Kavramsal Çerçevesi	7
2.1.1. Bedenin Fenomenolojik Anlamı ve Mekânla Etkileşimi	7
2.1.2. Bedenin Disiplin Mekanizmaları İçindeki Konumlanması	11
2.2. Mekânın Üretiminde Bedenin Rolü	15
2.2.1. Lefebvre'nin Ritmanalizi ve Mekân Üretimi	15
2.2.2. Ritim–Zar Diyalektiği	19
2.2.3. Yer, Okunaklılık ve Yerinde Ayar Gereksinimi	25
2.3. Bedenin Performatif Hareketleri ve Mekânın Deneyimlenmesi	28
2.3.1. Bedenin Performatifliği: Mekânı Değiştiren Hareket	28
2.3.2. Jestin Algısal Mimarisi: Yerleşim Noktalarıyla Eşik Üretimi	33
2.4. Post-Beden, Dijitalleşme ve Pikselleşme Bağlamında Mekânsal Üretim	36
3. OPERATİF KARAR YÜZEYİ: GEOMETRİK ALTYAPI VE ÜRETKEN PİKSEL REJİMİ	42
3.1. Grid: Geometri, Ölçüm ve Karar Altyapısı	42
3.1.1. Geleneksel Öklidyen Grid: Temsili Düzendeki Hesaplamalı Alana	42
3.1.2. Gridin Operatif Statüsü: Temsil Şemasından Adreslenebilir Karar Zemini'ne	45
3.1.3. Ayırıklaştırma ve Örnekleme Politikası: Çözünürlük, Ölçek ve Zaman Penceresi	49
3.1.4. Komşuluk ve Topoloji: Gridin Ağ Mantığı, Akış Okunabilirliği ve Zon Kümelenmesi	52
3.1.5. Geometri, Üretim ve Ölçüm Döngüsü: Sapma Yönetimi, Doğrulama ve Bakım Mantığı	55
3.2. Üretken Piksel: Gridin Yerel Metriklerle Güncellenmesi	57
3.2.1. Kapsam ve Amaç	58
3.2.2. Temel İşleyiş: ZMEK (İz–Metrik–Eşik–Karar)	58
3.2.3. Karar Aileleri (K1–K4)	59

3.2.4. Güncelleme Rejimi: Komşulukla Uyum ve Kademeli Yayılım	59
4. BEDEN-ÜRETKEK PİKSEL ARAYÜZÜ: MİKRO JESTTEN TEMSİLİ GÖSTERGE'YE	60
4.1. Mikro Jest Sözlüğü	60
4.2. Laban Efor Yaklaşımı: Temsili Gösterge Türlerinin Hareket Niteliğiyle İlişkilendirilmesi	63
4.3. ZMEK Çeviri Merdiveni: Kavramsal Yerleşim	66
4.4. Uzamsal Hizalama İçin Homografi Prensibi: Statik Görsel Doğrulama	67
5. YÖNTEM	70
5.1. Araştırma Yaklaşımı, Araştırma Sorusu ve Hipotez Çerçevesi	70
5.2. Veri Kanalları ve ZMEK Protokolü (Z-M-E-K)	72
5.2.1. Bölgesel Zon Maskeleri (Z1-Z4) ve Veri Kanalları	73
5.2.2. Metrik, Eşik ve Karar İşletimi: M-E-K	75
5.3. Doğrulama ve Değerlendirme İlkeleri (KPI)	77
6. PROTOTİP VE SİSTEM MİMARİSİ	80
6.1. Sistem Mimarisi ve Kurulum Özeti	81
6.2. Veri Toplama ve İşleme Hattı	85
6.3. Özellik Çıkarımı ve Sayısallaştırma (Metrik, M)	87
6.4. Histerezisli Eşikleme ve Uyarlama (Eşik, E)	91
6.5. Zonlama, Karar ve Eyleyici Parametre Seti	94
6.6. Hesaplamalı Geometri ve Çözüm	97
6.7. Optimizasyon ve KPI Aşamaları	99
6.8. Prototipleme ve Geri Besleme Döngüsü	103
6.9. Etik, Sınırlılıklar ve Risk Azaltım	103
7. DEĞERLENDİRME, TARTIŞMA VE GELECEK ÇALIŞMALAR	104
7.1. Araştırma Probleminin Yeniden Çerçevesi	104
7.2. Kuramsal Katkılar: Beden, Grid ve Üretken Piksel	105
7.3. Yöntemsel Katkılar: ZMEK Çerçevesi ve Tasarım Yoluyla Araştırma	106
7.4. Prototip ve Deneysel Bulguların Değerlendirilmesi	108
7.4.1. V1 Çekirdek Doğrulamalar	109
7.4.1.1. Eşikleme Doğrulamaları	109
7.4.1.2. Kangaroo Yakınsaması: Δ RMS Eğrisi	111
7.4.2. Referans Mimari Üzerinden Çoklu Kanal Senaryoları	112
7.4.3. KPI Ve Optimizasyon Bulguları (Simülasyon Tabanlı)	113
7.4.4 V1 Fiziksel Bulguların ve Simülasyon Tabanlı KPI Bulgularının Birlikte Okunması	116
7.5. Uygulama Alanları, Etkiler ve Disiplinler Arası Yayılım	117
7.6. Sınırlılıklar ve Çıkarımlar	118
7.6.1. Teknik Sınırlılıklar	119
7.6.2. Risk Azaltım Stratejileri ve Etik Çıkarımlar	119
7.7. Gelecek Çalışmalar ve Yeni Proje Önerileri	120
KAYNAKLAR	121
ÖZGEÇMİŞ	127
TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR	128

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

GTÜ	: Gebze Teknik Üniversitesi
$B_{\text{asym}}(t)$	: Sol-sağ yük aktarım asimetrisi indeksi
$B_{P90, i}(t)$	: Basınç/kuvvet için P90 yüzdelik metriği (niyet/şiddet göstergesi)
$B_{\text{var}, i}(t)$	: Pencere içi varyans
$B_{\sigma, i}(t)$	: Standart sapma (dalgalanma göstergesi)
C	: Sınıf kümesi (örn. K1–K4)
D	: Hedef uyumu KPI'ı (referansa yakınlık)
E	: Eşik katmanı (olay seçimi)
E_{off}	: Olayın bitişi için kapama eşiği
E_{on}	: Olayın başlaması için açma eşiği
H	: Heterojenlik (Shannon entropisi temelli KPI)
J	: Amaç (fitness) fonksiyonu
K	: Karar katmanı (tektonik/parametrik eşleme)
M	: Metrik katmanı (özellik çıkarımı)
M_{speed}	: Hız büyüklüğü metriği (optik akış türevli)
$M_{\text{turn}} / \Delta\theta$	: Yön kırılması (açısal değişim) metriği
$N(Z_i)$	: 1-halka komşuluk kümesi
$P_i(t)$	: i'inci hücrenin basınç/kuvvet-zaman serisi
$p(c)$	: c sınıfının normalize oranı (karar dağılımı)
$s(t)$	: İkili olay durumu (0/1; histerezis çıktısı)
T	: Üretim maliyeti/sapması KPI'ı (bileşik terim)
T_{grad}	: Sıcaklık gradyanı metriği
T_{island}	: Isıl ada belirginliği metriği
$T_i(t)$	: i'inci hücrenin sıcaklık-zaman serisi
t	: Zaman
τ_{ref}	: Refrakter süre
ΔRMS	: Yakınsama ölçütü (iteratif çözümde ardışık fark)
Δt	: Pencereleme süresi / örnekleme adımı
ΔT	: Uyarılama güncelleme periyodu (eşik güncellemesi)
$v_i(t)$	: i'inci hücrenin hız/vektör alanı (hareket kanalı)
Z	: Hücre / “üretken piksel” birimi (temsil ve karar birimi)
Z_i	: i'inci hücre
$Z_{\text{ID}} (\text{Hex}_{\text{ID}})$	: Hücre kimliği (adresleme indeksi)
$Z1-Z4$	: Makro zon maskeleri (plan-temelli okuma iskeleti)
Z_{label}	: Hücreye atanan çıktı zon etiketi (M ve E sonrası sınıf)
α, β, γ	: Amaç fonksiyonundaki ağırlık katsayıları
ε	: Sayısal kararlılık sabiti (0'a bölmeyi önleme)
∇	: Nabla operatörü (gradyan)
$\ \nabla T\ $	: Sıcaklık gradyanı büyüklüğü (ısı geçiş/cep göstergesi)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1: Jest, yönelim ve ritim üçlüsünün eşik kuşaklarını oluşturması.	10
Şekil 2.2: Sert disiplinci planlamadan yumuşak disiplin ve Üretken Piksel arayüzüne geçiş.	12
Şekil 2.3: Lefebvre, Foucault, Dovey, de Certeau ve Pallasma temelli kavram haritası.	14
Şekil 2.4: Mekânın üçlü diyalektiğiyle ritmik ayar farkları [Lefebvre 1991; 2004].	17
Şekil 2.5: Çizgisel sınırdan kalınlaşan eşik bandına ve zar davranışına geçiş şeması.	23
Şekil 2.6: HygroSkin cephe sistemi zar davranışı analizi. [Web 1]'den uyarlanmıştır.	25
Şekil 2.7: Performatif jestten ZMEK kararına akış şeması.	29
Şekil 2.8: Kinesfer ve üç temel düzlemin perspektif ve ortografik görünüşleri. [Newlove ve Dalby, 2003] referansından uyarlanmıştır.	32
Şekil 2.9: Dynamic Cartography III (2014) deneyinin üretken piksel bağlamında hibrit okuması. [Martínez Sánchez, 2021]'den uyarlanmıştır.	33
Şekil 2.10: Yerleşim noktasının modal profili ve zaman penceresine göre değişimi.	36
Şekil 2.11: Post-beden bileşenlerinin operasyonel hat boyunca maddi ve enformasyonel birlikte çalışması.	37
Şekil 2.12: Hylozoic Ground projesinde dağıtık zekâ temelli operatif yüzeyin çok ölçekli analizi. [Beesley, 2010] ve [Gorbet, 2010]'dan uyarlanmıştır.	39
Şekil 2.13: Mikro yığılmaların eşik bandı üzerinde okunması ve seçici kodlama mantığında karar ailelerine dağılım şeması.	41
Şekil 3.1: Öklidyen gridin temsil rejiminden operatif karar zeminine geçişi.	43
Şekil 3.2: Hücre düzeninin düğüm–kenar ilişkileriyle işlemsel bir ağ olarak temsili.	47
Şekil 3.3: Ayırıklaştırma ve örnekleme politikası: mekânsal, zamansal ve istatistiksel eksenlerde karar istikrarı.	52
Şekil 3.4: Uzamsal pencereleme kademeleri.	54
Şekil 3.5: Ayırık geometrilerde sapma yönetimi ve doğrulama mantığı. [Nejur, 2023]'ten uyarlanmıştır.	56
Şekil 4.1: Mikro jestlerin temsili gösterge türleri üzerinden K1–K4 karar ailelerine bağlanmasını özetleyen eşleme şeması.	62
Şekil 4.2: Tektonik Karar Uzayı Şematik Gösterimi. [Newlove ve Dalby, 2004]'den uyarlanmıştır.	64
Şekil 4.3: ZMEK çeviri merdiveni.	66
Şekil 4.4: Statik görüntü doğrultma ile homografi prensibi görsel doğrulaması.	68
Şekil 5.1: Tasarım yoluyla araştırma döngüsü.	71
Şekil 5.2: ZMEK boru hattı ve kapsam ayrımı (referans mimari, v1 prototip).	73
Şekil 5.3: Referans mimari üzerinde zon maskeleri (Z1–Z4).	74
Şekil 6.1: v1 mikro modülün fiziksel kurulumu.	83
Şekil 6.2: Referans mimari diyagramı.	84

Şekil 6.3: Dairesel bant-sınırlı bir fonksiyonun kare ve altıgen örnekleme hücrelerine oturtulması. [Middleton ve Sivaswamy, 2005]’den uyarlanmıştır.	85
Şekil 6.4: Veri toplama ve işleme hattı şeması.	86
Şekil 6.5: K katmanlı akış şeması.	94
Şekil 6.6: Altıgen topolojide $N(Z_i)$ komşuluk kümesi üzerinden karar yayılımı.	96
Şekil 6.7: Algoritmik akış şeması (Grasshopper tanımı).	97
Şekil 6.8: Fin yönü (v_i) ve fin yüksekliği (h_{fin}) haritası (K2 yönlü doku, referans mimari).	98
Şekil 6.9: Gerçek zamanlı etkileşim ve canlı veri izleme ($v1$ doğrulaması).	99
Şekil 6.10: Grasshopper–Galapagos’ta amaç fonksiyonu J kurulumu ve Fitness bağlantısı (H–D–T, α – β – γ ; gen parametreleri).	102
Şekil 7.1: $v1$ mikro modülün yüzey detayı.	108
Şekil 7.2: Boş sistemde yük hücrelerinin toplam çıktısının P80, P90 ve P95 yüzdelikleri ve gürültü bandı.	110
Şekil 7.3: Basınç kanalında histerezisli eşikleme için kullanılan karar bandı ile E_{on} , P90 ve P95 değerlerinin oturma ortamlarına göre değişimi.	111
Şekil 7.4: ΔRMS yakınsama eğrisi.	112
Şekil 7.5: Jenerasyonlara göre heterojenlik (H) ve hedef band [1.33–1.37] ($H^* = 1.35$ bit).	114
Şekil 7.6: Farklı konfigürasyonlar için hesaplanan hedef zon dağılım uyumu D değerleri.	114
Şekil 7.7: Farklı ZMEK senaryoları için normalleştirilmiş üretim sapması T değerlerinin değişimi.	115
Şekil 7.8: Galapagos optimizasyon sürecindeki öğrenme eğrisi.	116
Şekil 7.9: Beden–mekân etkileşimine dayalı yüzey tipoloji örnekleri.	117

TABLÖLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: Jest, yönelim ve ritmin operasyonel karşılığı.	10
Tablo 2.2: Ritmanaliz parametrelerinin mekânsal ve metrik karşılıkları.	16
Tablo 2.3: Mikro mesafe, mezo akış ve makro zaman ölçeklerinin eşik üzerinden karşılaştırılması.	22
Tablo 2.4: Ritim türleri ile zar ayarları ilişkisi.	24
Tablo 2.5: Eşik kuşaklarında yerinde ayarın başarı ölçütleri ve hedefler.	27
Tablo 2.6: Duyusal modaliteler, yerleşim göstergeleri ve tasarımsal karşılıkları.	35
Tablo 3.1: İzden Karar aşamasına; adreslenebilir hücre mantığı.	48
Tablo 4.1: Mikro jestlerin temsili gösterge türleri üzerinden K1–K4 karar aileleriyle ilişkilendirilmesini özetleyen operatif eşleme çerçevesi.	63
Tablo 4.2: Efor bileşenleri ile temsili gösterge türleri ve K1–K4 karar aileleri.	65
Tablo 5.1: M katmanı: Laban efor analizi ve metrik eşleştirmesi.	76
Tablo 5.2: v1 minimum doğrulama seti (kuvvet).	78
Tablo 5.3: Referans mimari genişletilmiş değerlendirme planı (basınç, hareket ve ısı).	78
Tablo 6.1: Denklem değişkenleri ve birimleri.	81
Tablo 6.2: Denklemler, üretilen çıktı türleri, ZMEK adımı ve eyleyici karşılıkları.	100

1. GİRİŞ

Güncel mimarlık okumaları, beden–mekân ilişkisini gündelik hayatın ritimleri üzerinden yeniden düşünmeyi hedefleyen kuramsal tartışmalar, bir yandan da dijital araçlarla genişleyen teknik bir havuz sunmaktadır. Bu bağlamda mekân, önceden çizilmiş bir kabuğun içinde gerçekleşen eylemlerin statik yerleşkesi olmaktan çıkarak, bedenın yürüme, bekleme, yön değıştirme gibi mikro jestleriyle zaman içinde yeniden oluşum gösteren devingen bir eksen olarak ele alınmaktadır.

Ek olarak mimarlıkta grid ve piksel temelli ayrıklaştırma biçimleri, dijital tasarım ve üretim zincirinin kurucu eksenleridir. Bu konumlandırma, bedensel devinim ile sayısal temsil arasındaki bağı çoğu kez dolaylı bırakmakta ve beden verisinin tasarım kararına evrilme durumunu, sezgisel ya da sonradan eklemlenen ilişki seviyesinde bırakılmaktadır. Halbuki güncel sensör teknolojileri, bedenın ısı, basınç ve hareket verilerini yüksek zaman çözünürlüğüyle izlemeyi kolaylaştırarak, bu verilerin grid üzerinde ayrıık örnekler olarak biriktirilip karar mekanizmalarına doğrudan girdi olarak kullanılmalarına olanak sağlamaktadır.

Mevcut çalışmaların ortak hattında interaktif yüzeyler, akıllı sistemler ve performatif strüktürler üzerine geniş bir yelpazede ele alınmakta ve bu çalışmaların önemli bir kısmında veri çoğunlukla anlık tetikleyici olarak işlevselleştirilmektedir. Bedene doğrudan tasarım kurucu rolü verilememektedir. Ayrıca veri ve karar ilişkileri genellikle tekil eşik değeriyle sınırlandırılmakta olup, bu durum kararsızlık ya da bağlamdan kopuk tepkiler üretebilmektedir. Bu tez, söz konusu boşluğu beden–grid etkileşimini odak noktası belirleyerek ele almaktadır. Grid’i, bedensel izleri toplayan ve bu izleri durumsal olarak ayarlanan eşik bantlarıyla okuyan ve yerinde ayar üretebilen bir karar yüzeyi olarak yeniden tanımlamaktadır.

Bu noktada ortaya konan “üretken piksel” kavramı, karar yüzeyinin en küçük operatif birimi olarak kurgulanmaktadır. Piksel ölçüm işleviyle sınırlandırılmadan, ısı, basınç ve hareket verilerini eşik bantları içinde yorumlayıp geçirgenlik (porozite), yönlenme (anizotropi), yerel rijitlik ve mekânsal çözünürlük gibi tasarım parametrelerine çeviren bir arayüz birimi olarak ele alınır. Tezin temel iddiası, bedenın grid üzerindeki fiziksel

etkileşimini üretken pikseller üzerinden okumanın hem kuramsal hem de prototip ölçeğinde gözlemlenebilir ve değerlendirilebilir mimari karar ilkesi önerebileceğidir.

Bu tez, söz konusu iddiayı ZMEK (Zon, Metrik, Eşik, Karar) akışı ile işletim seviyesine taşır. Burada mikro jestler belirli zonlarda (Z) toplanır. Ölçülebilir göstergelere (M) çevrilerek, histerezis, komşuluk ve zamana yayılma ilkeleriyle tanımlanan eşik bantları (E) üzerinden okunurlar. Son olarak da K1–K4 yerel karar aileleriyle (K) ilişkilendirilirler. Bu çalışmanın literatüre ve yöntem katmayı hedeflediği noktalar beş eksen üzerinden ele alınabilmektedir:

- Mikro jestlerin eşik bantları üzerinden okunmasına dayanan açıklanabilir bir karar yüzeyi kurgusu,
- Laban Efor sözlüğünün operatif ekseninin mimari karar değişkenlerine bağlanan analiziyle türetilmiş temsili göstergeler olarak konumlandırılması,
- Eşik bandı ilkesi bünyesinde karar durumunun dengeye getirilmesi (histerezis, komşuluk vb.),
- K1–K4 karar ailesinin tektonik karşılıklarıyla (porozite, çözünürlük vb.) eşleştirilmesi
- Prototip üzerinden yürütülen deneysel doğrulama hattı ve yöntemsel izlenebilirlik.

1.1. Çalışmanın Arka Planı ve Problem Tanımı

Çalışma kapsamında problem, bedenün gündelik döngülerinde oluşan izlerin tasarım kararına nasıl çevrileceği sorusu üzerinden şekillenir. Kent içi ve yarı kamusal mekânlarda yoğunlaşma, bekleme, akışta hızlanma ile yavaşlama durumu ve yön kırılmaları belirli bölgelerde zamanla birikim göstermektedir. Bu birikim, mekânsal deneyimi doğrudan etkileyen görünmez katman olan eşik bantlarını üretmektedir. Fakat güncel uygulamalarda beden verisi tasarımın ana girdisi haline gelemediği için grid, başlangıçtaki geometrik haliyle sabit kalmaktadır. Veri olgusu çoğunlukla, ışık, renk ve medya gibi etkileşim katmanlarında kısıtlanmaktadır.

İkinci belirleyici problem ise, veri–karar ilişkisinin tek değerli eşik üzerinden sınırlandırılmasıdır. Ölçülen büyüklükler ikili kararlara çevrildiğinde sistem, gündelik hayat ritimlerinin gürültülü doğası karşısında kararsızlaşmakta ya da aşırı duyarlı

olarak arka plan verilerini baskınlaştırmaktadır. Bu sebeple kararların tek bir odaktan çok, sahaya göre kalınlaşıp incelen eşik bantları üzerinden ele alınması gerekliliği gözlemlenir.

Üçüncü belirleyici sorun, grid'in mimarlıkta salt geometrik bir örgütlenme aracı olarak ele alınmasıdır. Grid, topolojik yerel metrikler ve mimari karar mantıklarıyla örtüşen çok katmanlı düzlem olarak yeniden düşünülmelidir. Bu tez, grid'i bu çok katmanlı niteliği üzerinden, bedensel iz, eşik ve karar hattını barındıran karar yüzeyi olarak yeniden konumlandırmayı amaçlamaktadır.

1.2. Amaç, Araştırma Sorusu ve Hipotezler

Bu çalışmanın genel amacı, bedenın grid tabanlı bir yüzey üzerindeki fiziksel etkileşimini üretken piksel kavramı altında toplayarak, bu etkileşimi mimari karar üretiminde kullanılabilir bir tasarım stratejisine dönüştürmektir. Bu hedef doğrultusunda grid, bedensel izlere göre yerinde ayarlanan dinamik bir karar yüzeyi olarak ele alınmaktadır.

Bu çerçevede tezin temel araştırma sorusu aşağıdaki gibi belirlenmektedir.

Temel Araştırma Sorusu: Bedenin grid üzerindeki fiziksel etkileşimi (ısı, basınç, hareket), tasarımda “üretken piksel” kavramı altında nasıl bir tasarım stratejisine dönüştürülebilir?

Bu bağlamda ZMEK (Zon–Metrik–Eşik–Karar) akışı, beden verisinin tasarım parametrelerine çevrilmesinde temel çerçeve olarak kullanılır.

Araştırma, bedenın grid üzerinde yarattığı mikro deformasyonların mimari bir girdi olarak değerlendirilebileceği varsayımına dayanmaktadır. Bu temel varsayımı sınamak için üç alt hipotez tanımlanmaktadır:

- H1-Akışkanlık hipotezi: Üretken piksel yaklaşımıyla güncellenen yüzeyin, sabit kurgulu bir gridle karşılaştırıldığında hareket akışında daha yüksek yön sürekliliği ve daha az ani yön kırılması üretmesi beklenir.
- H2-Algısal konfor ve okunabilirlik hipotezi: Basınç ve ısı verisiyle yerel olarak biçimlenen yüzeyin, kullanıcılar tarafından sabit gride kıyasla okunabilirlik, erişilebilirlik ve konfor algısının daha yüksek olması beklenir.

- H3-Yapısal ve üretimsel verim hipotezi: Veriye dayalı yerel rijitlik ve çözünürlük ayarlarının, yüksek baskı alanlarında rijitliği artırırken düşük veri yoğunluklu bölgelerde çözünürlüğü düşürerek malzeme kullanımı ve imalat sürecinde önemli bir verimlilik sağlaması beklenir.

1.3. Araştırma Yaklaşımı, Kapsam ve Sınırlılıklar

Araştırma süreci, beden-veri-form ilişkisini adım adım ayarlayan dinamik bir kalibrasyon döngüsü olarak örgütlenmiştir. Simülasyon ön-testleriyle modelin ilk kalibrasyonu yapılmakta; ardından gerçek dünya gürültüsünü içeren prototip denemelerinde eşik bantları, ağırlık katsayıları ve çözünürlük parametreleri yeniden ayarlanmaktadır. Ayrıca Tasarım Yoluyla Araştırma yaklaşımını benimser. Bilgi, yalnızca kuramsal literatürün yorumuyla değil; beden-grid etkileşimini konu alan yinelemeli prototipler üzerinden üretilir. Tasarım, hipotezleri sınavan, veri ile form arasında geri besleme üreten aktif bir araştırma aracına dönüştürülür.

Tez kapsamında bedenin grid tabanlı bir yüzey üzerindeki ısı, basınç ve hareket izleri üç kanallı bir veri yapısı olarak ele alınır ve ZMEK (Zon-Metrik-Eşik-Karar) akışı ile zonlara (Z), metriklere (M), eşik bantlarına (E) ve tektonik kararlara (K) dönüştürülür.

Çalışmanın kapsamı, geliştirilen tek bir prototip sistem ve bu prototip üzerinde yürütülen sınırlı sayıdaki A/B karşılaştırması ve ablasyon testi ile sınırlandırılmıştır. Kentsel ölçekteki uygulama senaryoları ve farklı senaryo bağlamları tartışma bölümünde kavramsal olarak ele alınmaktadır. V1 fiziksel doğrulama, donanım ve kurulum kapsamı gereği ağırlıklı olarak yük kanalı üzerinden sınavma yapılmıştır. Hareket ve ısı kanalının prototip ölçeğinde eşzamanlı ve tam kapsamlı doğrulaması sınırlı tutulmuş, buna karşın bu kanalların ZMEK çerçevesindeki yeri kuramsal seviyede tanımlanmıştır. V1 doğrulamasında hareket kanalı sınırlı olduğundan H1, temsili göstergeler (proxy) üzerinden gözlemlenmektedir. Çoklu kanalın tam kapsamlı değerlendirmesi referans mimari (v2) planında ele alınmaktadır.

Benzer biçimde v1’de ısı kanalı sınırlı olduğundan H2, ağırlıklı olarak basınç temelli göstergeler ve nitel KPI’lar ile raporlanır. Isı verisine dayalı algısal okuma v2 değerlendirme hattında genişletilecek biçimde kurgulanmıştır.

1.4. Operatif Sözlük

İz: Bedenin gündelik edimleri sonucu sahada biriken, ısı/basınç/hareket gibi ölçülebilir işaretler kümesi; operatif zincirin başlangıç girdisi.

Mikro jest: Duraksama, hız değişimi, yön sapması, ağırlık aktarımı gibi kısa süreli bedensel edimler; izlerin olaylaşmasını tetikleyen küçük hareket parçası.

Ritim: Tekil anlardan çok, tekrar ve aralık düzeniyle oluşan süregelen kullanım örüntüsü.

Eşik: Yönelim, duraksama ve temas olasılıklarının yoğunlaştığı bağlama duyarlı geçiş koşulu.

Eşik kuşağı: İzlerin zaman içinde birikerek yoğunlaştığı, genişleyip daralabilen hacimsel geçiş alanı (eşik deneyiminin mekânsal karşılığı). Bu kuşağın operatif karşılığı eşik bandı üzerinden kurulur.

Yerinde ayar: Eşik kuşağında biriken izlere bağlı olarak eşik ve karar parametrelerinin yerel ve zamansal yeniden düzenlenmesi.

Grid: İzlerin tutulduğu, işlendiği ve kararın üretildiği koordinatlanabilir hücresel altyapı.

Hücre (Z): ZMEK protokolünde izlerin biriktirildiği ve kararların üretildiği en küçük mekânsal işlem birimi.

Adreslenebilirlik (Z_{ID} / Hex_{ID}): Her hücrenin tekil bir kimlikle tanımlanması; ölçüm–eşik–karar döngüsünün aynı adreste yürütülebilmesini sağlar.

Zon maskesi ($Z1-Z4$): Analiz alanını baştan bölgeleyen, plan temelli makro ön çerçeve.

Zon etiketi (Z_{label}): M ve E işletildikten sonra hücelere atanan çıktı sınıfı.

Komşuluk ($N(Z_i)$): Hücrelerin topolojik yakınlık ilişkisi.

Topoloji (altıgen örnekleme): Hücrelerin düğüm–kenar ilişkileriyle tanımlanan yakınlık düzeni.

Temsili gösterge (proxy): İzlerden türeyen ve jestin hangi ekseninde okunacağını belirleyen ara sınıf; metrik seçimine gerekçe sağlar.

Metrik (M): İzlerin karşılaştırılabilir ve hesaplanabilir ölçüt diline çevrilmiş hâli.

Eşik bandı: Eşiğin bağlama göre standartlaştırılan aralık temelli karar rejimi olarak ele alınması. Eşik kuşağının hesaplanabilir karar karşılığıdır.

Olay (event): Metriklerin belirli koşullarda arka plandan ayrışıp aktif bir duruma geçtiği ve bu aktifliğin K güncellemesini başlattığı seçili durum.

Karar (K) ve K1–K4 karar aileleri: Olay seçimi sonrası devreye giren, yüzey parametrelerini güncelleyen müdahale repertuarı (porozite, yönlü doku, yerel rijitlik, çözünürlük).

ZMEK (İz–Metrik–Eşik–Karar): Bedenin bıraktığı izleri, hücre (Z) ölçeğinde metriklere çevirip eşik bandıyla seçen ve seçilen olayı K1–K4 kararlarına eşleyerek yüzeyi yerinde ayarlayan operatif akış.

KPI (anahtar performans göstergesi): v1’de işletim kararlılığı ve sistem çalışabilirliğini; v2’de performans iddialarını ölçmeye yarayan nicel gösterge setleri.

2. MEKÂNIN ÜRETİMİNDE BEDEN, RİTİM VE PERFORMATİF SÜREÇLER

Bu bölüm, bedeni mimari temsilin edilgen bir nesnesi olmaktan çıkararak, gündelik edimlerin bıraktığı izler vasıtasıyla mekânsal örgütlenmeyi tetikleyen bir operatif aktör olarak ele alır. Literatürde beden-mekân ilişkileri, iki hat üzerinden tartışılır. İlk eksen deneyim, algısal oluşum ve yönelim çerçevesindeki fenomenolojik okumalara odaklanırken, diğer eksen mekânsal düzenin normatif rejimler üzerinden; bedensel davranışlar, tipolojiler ve protokoller aracılığıyla homojenize etmesine odaklanır. Araştırma süresince bu iki eksen ‘arayüzleşme’ problemi içinde beraber ele alınacak olup, bedensel edimlerin metrikleştirilmesinde görev alan temsil arayüzleri ve yerinde ayar durumu doğuran mekânsal koşullar üzerinden tartışmaya açılacaktır.

2.1. Bedenin Tanımı ve Kavramsal Çerçevesi

Bu bölüm, beden ve mekân arayüzünde kurulan ilişkinin kavramsal eksenine ve operatif sözlüğün başlangıç değişkeni olarak belirlenen iz kavramının kuramsal tartışmalardaki konumuna odaklanmayı amaçlamaktadır. İz kavramı, araştırma boyunca ısı, hareket ve basınç gibi beden kaynaklı çıktıların sahada bıraktığı ölçülebilir göstergeleri tanımlamaktadır. Bu noktada beden; mekanla algı ve eylem süreğenliği aracılığıyla ilişki kuran özne olarak, aynı zamanda da tipoloji ve işletim protokolleri üzerinden işleyen ve yeniden ayarlanan arayüz eyleyicisi olarak ele alınmaktadır. Bölüm 2.1.2’de dolaşım durumunun çerçeveleme, görünürlük ve protokoller üzerinden tartışılarak, izlerin eşiklerde birikim gösterdiği konumlar tespit edilerek açıklanmaya çalışılacaktır.

2.1.1. Bedenin Fenomenolojik Anlamı ve Mekânla Etkileşimi

Literatürde önemli bir yer kaplayan beden kavramı, her dönem yaratımın temel köşe taşı olarak ele alınmıştır. **Richard Sennett [2022]**, *Ten ve Taş* kitabında Perikles dönemi Atina’sındaki beden imgesine odaklanırken; kamusal mekân bağlamı üzerinden bedenin semiyotik kodlarını analiz ederek açıklar.

Sosyoloji ve mimarlık ara kesitinde ele alındığında vücut ısısı¹ kavramının kamusal mekâna erişimin önemli bir unsuru olduğunu vurgular. Erişim ve katılım olgusunun ısı konfor ve uygunluk üzerinden ilişkilmesini tartışır. Araştırmanın temelinde, bedensel iz² türlerinin heterojen dağılımına odaklanılarak, gündelik jestlerin mekânsal örgütlenmeyi nasıl görünür kılınabileceği temellendirilmiş olmaktadır. Toplumsal ve kamusal arayüzdeki bu okuma, fenomenolojik yaklaşımda ele alınan algı ve eylem süreğenliğiyle bütünleşir. Araştırma süresince kentsel mekân; dolaşım ağlarının, atmosferik koşulların, kamusal etkileşimlerin ve kurumsal protokollerin (bakım, yönlendirme, erişim) biriktiği arayüz olarak ele alınır.

Merleau-Ponty, bu tartışmayı destekler ve mekânın bedenden bağımsız bir sahne olamayacağını ortaya atar. Mekân, Ponty'nin yaklaşımıyla aslında algı ve hareket birlikteliğinin beden aracılığıyla yaşantısal bir arayüz haline gelmesidir. Algı burada, çevreden veri almak gibi edilgen bir eylemden daha çok bedenin yönelimleriyle etkin bir şekilde ilişkilene yoldur. Hareket ise yer değiştirme kabiliyetinden daha çok bedenin çevreye yönelik kurmaya çabaladığı pratik bir niyet durumunu ifade eder [Merleau-Ponty, 2012]. Algılayan ve eyleyen bedenin ayrılmaz bir bütünün parçaları olduğu yorumlanabilmektedir. Bu bakış açısı, mekânsal deneyimin algı ve eylemin bir araya gelmesiyle oluştuğunu ve bedensel yönelimlerdeki mikro farklılıkların mekânsal kurgunun okunabilmesine imkân tanıdığını göstermektedir. Bu bağlamda eylemsel örgütlenmenin okunabilmesi, analitik bir dil olarak gözlemlenebilir göstergeler üzerinden tanımlanabilmesine bağlıdır. Göstergelerin operatif olarak üretilebilmesi, algının veri alımından çok eylemle birlikte kurulan bir süreç olarak anlaşılmasını gerektirmektedir. Bu eksende Varela vd.'nin [1991] eyleyici (enactive) biliş yaklaşımı, algı ve hareket sürekliliğini yorumlamak için güçlü bir kavramsal zemin oluşturmaktadır. Eyleyici biliş, algıyı pasif bir temsil aracından daha çok eylem içinde kurulan bir döngü olarak tanımlar.

Biliş, organizmanın çevreyle kurduğu yapısal eşleşme üzerine kurulur. Kurulan eylem ve çevre döngüsü ayrıca Gibson'ın [1979] ortaya attığı eylem olanakları (affordance) üzerinden okunabilmektedir. Bu yaklaşım eylemin çevreyi sabit bir form olmaktan

¹ Richard Sennett, Periklesin beden üzerine okumalarını ele alır. Ona göre sıcak bedenler, tahakküm yeteneğinin gelişmişliğini temsil eden ve eylemin etken bağlamında kamusal mekanlara erişim kapısını açan kritik bir unsur olarak ele alır [Sennett, 2022].

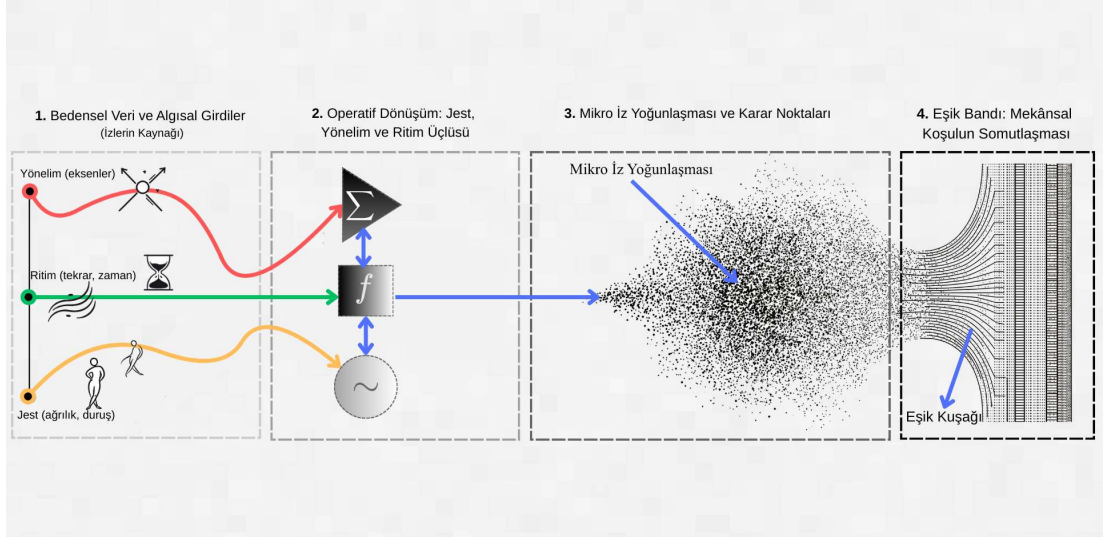
² Tez kapsamında iz kavramı; hareket, ısı ve basınç gibi beden kaynaklı çıktılardan sahada bıraktığı operatif ölçülebilir işaretleri tanımlamaktadır.

çıkartıp, yeniden dağıtılan bir olanaklar kümesi haline getirdiğini öne sürmektedir. Eyleyici biliş yaklaşımı ise bu ilişkiselliği yapısal bir eşleşme başlığı altında temellendirir [Varela vd., 1991]. Teorisyenlerin ele aldığı bu kuramsal hat göz önüne alındığında; algı ve hareketin aktif olduğu gündelik dolaşımda mikro jestler (duraksama, yön sapması, ağırlık aktarımı) mekânı sabit bir çizgi olmaktan çıkarır ve geçişin bir eşik koşulu olarak okunmasına imkân verir.

Bu doğrultuda çalışma, algı ve eylem sürekliliğini, tezin operatif sözlüğünde ‘jest, yönelim ve ritim’ üçlüsü üzerinden yeniden tanımlar. Jest burada, dramatik ve büyük ölçekli bir hareketten daha çok mikro ölçekte beliren örüntüler olarak ele alınmaktadır. Hareket sırasındaki kısa duraksamalar, ivmelenerek hareket hızının anlık arttığı anlar ve mikro seviyede gözlemlenen yön kırılmaları jestin mekânı örgütlenmedeki ilk adımları olarak örnek verilebilir. Yönelim ise bedenın eksenler aracılığıyla çevreyle kurduğu açığa bağılı ilişkiyi anlatmaktadır. Bu açısal ilişki üzerinden anlık tercih ve kararlar görünür kılınır ve temas olasılıklarını belirgin hale getirdiğı için dolaşımı statik bir yol olmaktan çıkarır. ‘Ritim’ kavramı ise Lefebvre’nin Ritmanaliz³ yaklaşımında ele aldığı yer, zaman ve enerji etkileşiminin sonucu olarak ortaya çıkan ve gündelik yaşam pratikleri üzerinden farklılaşarak süregelen bir örgütlenme türüdür.

Ritim bu perspektifte mekânı sadece geçiş durumunun oluşum merkezi olmaktan çıkararak, zamanlaşma ve dokulaşma çerçevesinde kalınlaşan bir katman olarak yorumlanmasını sağlar. Eşik ise sabitleyici bir sınır çizgisinden çok, bedensel yönelimlerin arttığı; yön kırılmaların, temas olasılıklarının ve duraksama durumunun yoğunlaştığı bir aralık yani koşuldur (Şekil 2.1). Bu nedenle eşik, aşılması gereken bir durumdan çok geçişin hızını, yönünü ve yoğunluğunu ayarlayan bir aradalık mekanizması olarak görülmelidir. Ayrıca, yöntem kısmında eşik koşulunun izlerden türetilen ve tekrar düzenleriyle beliren bir eşik kuşağı olduğu ele alınacaktır. Bu sebeple çalışmada deneyim odağından daha çok hareketin ne tür izlere dönüştüğü ve bunların nasıl eşik kuşaklarında görünür kılındığı amaçlanmaktadır.

³ Lefebvre’nin *Éléments de rythmanalyse: Vers une nouvelle science des rythmes* (1992) adlı eserinde biyolojik ve toplumsal ritimleri birlikte ele alan ritmanaliz yaklaşımı geliştirilir; beden, mekânsal ve zamansal akışları “ölçen” bir referans noktası olarak konumlanır. Bu çalışmada Elden ve Moore’un İngilizce çevirisi (2004) kullanılmıştır.



Şekil 2.1: Jest, yönelim ve ritim üçlüsünün eşik kuşaklarını oluşturması.

Eşik kuşakları, akışın ritmine ve bağlama göre genişleyip daralan ve kullanıcı davranışlarına göre yer değiştirebilen hacimsel geçiş alanlarıdır. Çalışmanın literatüre katmak istediği nokta ‘iz’ kavramı üzerinden bu yaklaşımları, yönteme dönüştürülebilir operatif bir sözlük haline getirmektir. Bu dönüşüm **Tablo 2.1** üzerinden kavramsal eşleşmelerle izlenebilmektedir.

Tablo 2.1: Jest, yönelim ve ritmin operasyonel karşılığı.

Kavram	Fenomenolojik tanım	İz/veri biçimi	Eşik bantlarıyla ilişkisi
Jest	Ağırlık aktarımı, mikro duraksama, hızlanma vb. ince motor örüntüler	Temas süresi, hız profili, adım frekansı, basınç dağılımı	Jestlerin tekrar ettiği bölgeler, eşik bantının çekirdeğini oluşturur (kararların sıklaştığı alanlar).
Yönelim	Baş-omuz-kalça eksenlerinin mekândaki açısal ilişkisi, görüş alanı ve temas olasılığını belirleyen ayar	Yön sapması, bakış yönü, rotadaki kırılma noktaları	Yön değişimlerinin kümелendiği noktalar, yön kırılmalarına duyarlı eşik bantlarını tanımlar.
Ritim	Jest ve yönelimlerin zaman içindeki tekrar, vurgu ve aralık düzeni	Tekrar sıklığı, tempo değişimleri, duraklama periyotları	Ritim yoğunluğunun kalınlaştığı zaman-mekân kesişimleri, eşik bantlarının zamansal kalınlığını belirler.

Tablo 2.1’de “jest, yönelim ve ritim” yaklaşımının sahada izlenebilir göstergelere çevrilebileceği kavramsal eşleşmeler kanalıyla incelenmiştir. Dolayısıyla bu göstergeler ham bir deneyim alanından çok zaman dolaşımının tanımlamasında ve eşiklerin protokoller yardımıyla görünür kılınmasında görev alırlar. Bir sonraki bölümde izlerin normatif sistemlerde temas noktalarında birikme sebepleri

tartışılacaktır. Bu sayede eşik kuşaklarının toplumsal ve mekânsal ara kesitte kuramsal temele oturulması sağlanacaktır.

2.1.2. Bedenin Disiplin Mekanizmaları İçindeki Konumlanması

Gündelik döngüler çoğu zaman akış etrafında şekillendiği varsayılan olgular olarak ele alınmaktadır. Fakat **Lefebvre’ye [2004]** göre mekân, aktörlerin eylemlerinin; normatif mekân tanımlamalarıyla (yönlendirme, rota, erişim) sürekli müzakere ettiği oluşum alanlarıdır. Bu sebeple araştırma, akışın sapma gösterdiği, yavaşladığı ve yeniden ayarlandığı eşik anlarına odaklanmaktadır. Bu akışın görünmeyen katmanları olan izlerin, temasın (sürtünmenin) fazla olduğu noktalarda ne tür koşullar altında nasıl yoğunlaştıkları bu bölümün ana tartışma konusu haline gelir.

Durumun ana aktörü olan bedenin, mekanla kurduğu ilişki fenomenolojik salt bir varoluştan çok kurumsal düzenlemelerin dolaşımını tanımlayan protokoller, gözetim eylemi ve mekânsal bölümlendirmeler üzerinden süregelen bir yeniden ayar mekanizması olarak okunmalıdır. Bu ekseninde deneyim, yönlendirme senaryoları ve erişim durumu üzerinden kalibre edilen gündelik pratik durumuna evrilmektedir. Sınır, bağlama göre açılıp kapanabilen bir geçiş aralığı; eşik ise zaman kavramı içinde şekil alan bir ara katman olarak okunur. Bu okuma, mekânsal örgütlenmelerin disiplinci mekân yaklaşımıyla birlikte düşünülmesi gerektiğini gösterir.

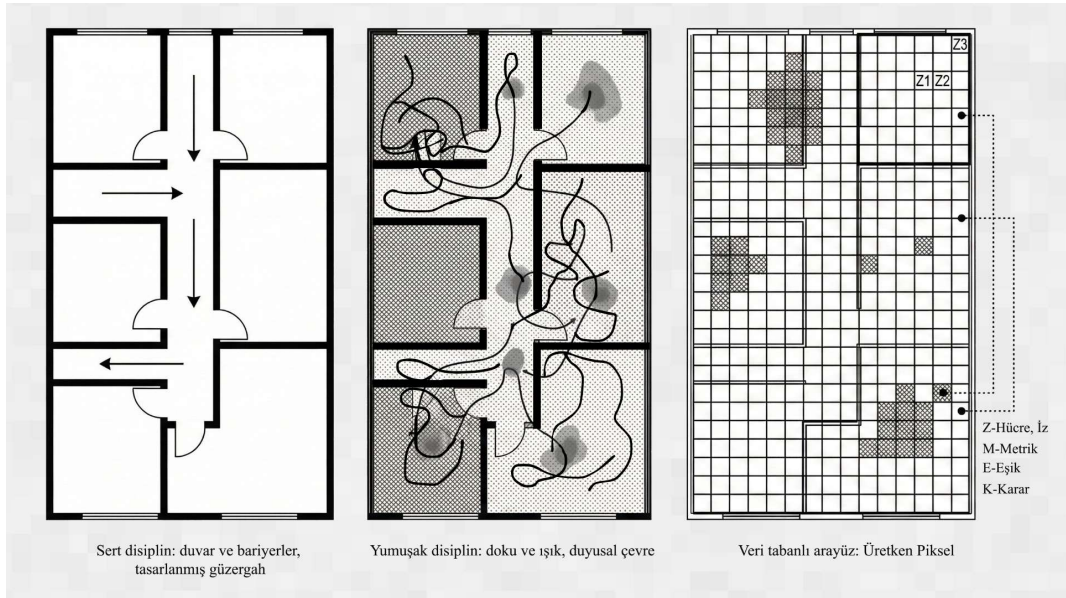
Foucault [1977], toplumsal olayların görünen arayüz katmanı olan mekân örgütlenmesini disiplinci mekân yaklaşımıyla açıklar. Disiplin ve Ceza (Discipline and Punish)’da tartıştığı disiplinci mekân (disciplinary space) okumasıyla birlikte, kent ögeleri ve aktörleri etrafında gelişen okul, hastane, hapishane gibi modern kurumların sayesinde biçimlendiği aktörleri yani bedenleri bir düzen rejimine yani hiyerarşiye soktuğundan bahsetmektedir. Bu hiyerarşi mekânsal örgütlenmelerle etkisini gösterir. Koridor, geçit, duvar gibi mimari ögeler ve yönlendirme işaretleri, bedeni rastlantısal bir dolaşımdan çıkararak öngörülen bir dolaşıma yerleştirir. Disiplinci mekân sayesinde, İz burada görünür hale gelir ve bu hiyerarşik protokollerin sıkıştığı yerlerde yani eşiklerde birikim oranı okunabilmektedir.

Bu perspektifi **Dovey [1999]**, çerçeveleme (framing) yaklaşımıyla destekler. Disiplinci mekâna göre gündelik döngülerde sessiz çalışan çerçeveleme fikri,

doğrudan bir engel ya da bariyer koymaz. Onun yerine görsel ve taktıl ipuçları aracılığıyla mesafe ve hız dinamikleri üzerinden davranış örüntülerini düzenler. Çerçeveleme fikri bu noktada, sürtünme dediğimiz durumun mekânsal olarak üretim pratiğine nasıl dönüştüğünün anlaşılabilir bir dile dönüşebilmesini destekler.

Çalışmada bu yaklaşımdan iz ve eşik sözlüğünde yararlanılarak, yavaşlama, durma ve hızlanma gibi yönelimsel kararların belirli noktalarda yoğunlaştığı tespit edilebilmektedir. Bu yoğunlaşmaların okunduğu noktalar ise eşik kuşaklarındaki iz birikiminin gözlemlenir hale geldiğini teyit eder. Tasarım dili olarak ‘ince ayar’ şeklinde yorumlanmasına kapı aralar.

İnce ayar, sert sınırlardan çok mekânın görünmeyen sessiz katmanlarına (doku, ışık, duyuşal çevre) odaklanarak, belirleyici karar anlarını kademeli olarak düzenleyen bir birikim arayüzü olarak çalışır (yumuşak disiplin). Yapılan çalışma kapsamında, iz ve eşik sözlüğü üzerinden bu birikim arayüzü görünür hale gelir. Bu ekseninde ayırt edici nokta, kontrolün aktörün davranış örüntülerini içkin şekilde güncelleyerek ayarlanmasını sağlayan bir sistem olarak işler. Bu dönüşüm, sert sınırlardan, yumuşak disipline ve izlerin veri arayüzü olarak işletilmesine uzanan örnek gösterim üzerinden özetlenir (Şekil 2.2).



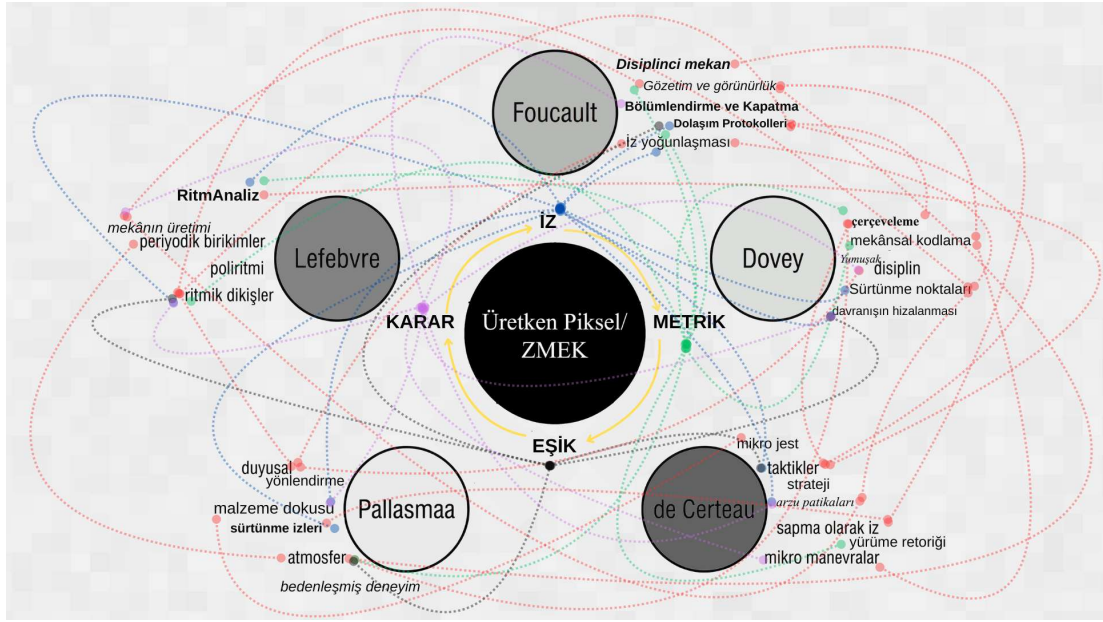
Şekil 2.2: Sert disiplinci planlamadan yumuşak disiplin ve Üretken Pıksel arayüzüne geçiş.

Böylece görünürlük ve çerçeveleme dinamikleri bağlamında, gündelik pratiklerin kusursuz çalışamayacağı gözlemlenir. Tasarlanan devinim aksı ve gerçeğe sirayet eden eylem ve hareketler arasında mikro sapmalar ve bu sapmalar sonucu oluşan sürtünme noktalarının görünürlüğü okunur.

De Certeau [1984], tasarlanan ve gerçekleşen arasındaki farkı strateji (strategy) ve taktik (tactic) kavramlarıyla açıklar: Stratejiler, planlamanın sonucu ortaya çıkan rota ve potansiyel güzergahı tanımlar. Taktik ise aktörlerin anlık hareketlerinde meydana gelen durum odaklı, geçici ve görünmez sapmaları tanımlar. Bu sapma durumları bir hata durumu olarak okunmaz. Bu taktiksel üretim ‘yürümenin retoriği’ (rhetoric of walking) üzerinden temellenir. Ona göre yürüme eylemi, belirlenmiş bir güzergahın edilgenden çok etken bir şekilde gerçekleştirildiği durumları tanımlamak için kullanılır. Bu yaklaşım Mikro jest ölçeği üzerinden okunduğunda, bu verilen mikro kararlar (hız değişimi, duraksama) aracılığıyla mekânın üretim potansiyellerini bürünebileceğini anlatır. Bu üretim pratiğinin tezahür ettiği devinim anında, tekrar eden mikro kararların belirli noktalarda birikmesiyle iz yoğunluğunda artış meydana gelir. İz yoğunlaşmaları, var olan mekânsal düzlemin yinelenerek farklı bir biçime dönüşmesi sonucu oluşan katman birikimi olarak okunabilir. Bu durumlara örnek olarak, beklenmedik ani durma eylemi, kalabalık akışından ayrılma gibi mikro jestlerin eşik kuşakları üzerinde yoğunlaşarak, Michel de Certeau ve Foucault’nun bahsettiği disiplinci mekân kurgusundaki sapmaları deşifre etmesi verilebilir.

Ayrıca tartışma, mekânsal örgütlenmenin bir gerilim hattı olarak stratejiler ve taktiksel sapmalar arasında var olan eşik kuşakları üzerinden izlerin görünür ve okunabilir hale gelmesini ele almıştır. Fakat bu iz yoğunlaşmaları tek başına; rota, görünürlük rejimleri ve protokoller etrafında şekil almaz. Yüzeyin dokusu ve sıcaklık durumu göz ardı edilmemelidir. Aynı zamanda temasın bir veri gibi geri bildirim olarak okunmasını ve atmosfer göstergelerinin (duyusal katmanların) mikro ölçekte somutlaşması, izlerin görünürlüğü açısından kritik referans noktaları sunabilmektedir. Bu nedenle kalibrasyon ve ayar mantığının önemli bir ekseni, gözetim durumlarında oluşan ritimler ve normatif çerçeveleme ile ilişkili olarak okunabilmektedir. Diğer eksen ise temas ölçeğidir. Bedenin mekanla kurduğu bu duyusal sistemler, aktörün davranışlarını yönlendirme biçiminin sorgulanmasını gündeme getirmektedir.

Pallasmaa [2005] bu noktada, mekân kavramını görsel bir devinim sisteminden çok, duyuşsal ve kinestetik bir etkileşim (temas) alanının süregelen bir ayar durumu olarak ele alır. Sürtünme, temas, sıcaklık, yüzey dokusu ve akustik gibi duyuşsal katman girdilerinin mikro seviyede beden davranışlarını nasıl sürekli ayarladığını vurgular. Tezde söz konusu duyuşsal süregelen düzenleme durumu, izlerin sahada birikmesi ve eşikler üzerinde belirginleşmesi olarak okunarak, kalibrasyon ve ince ayar yaklaşımı üzerinden ilişkilendirilir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Lefebvre, Foucault, Dovey, de Certeau ve Pallasmaa temelli kavram haritası.

Bu operasyonel hat, izlerin yoğunlaşması sürecinin zamanla birlikte konumlanan tekrar, aralık ve vurgu kurgusu üzerinden ele alınması gerektiğini vurgular. Bu yaklaşım, Normatif yaklaşım sonucu oluşan rotaların ve hız değişikliklerinin tek çıktı olmadığını aksine, bu çıktıların doku, sıcaklık gibi atmosfer öğeleri ile mikro ölçekte yoğunlaştığını göstermektedir.

Sonuç olarak iz ve eşik ilişkisi, mekân üretiminin ritmik aktörleri olarak gözlemlenerek sağlıklı verilere ulaşılabilceği şeklinde okunabilmektedir. Bu sayede bir sonraki bölümde detaylıca ele alınacak olan ritmik okumalar kuramsal olarak zemin bulmaktadır.

2.2. Mekânın Üretiminde Bedenin Rolü

Bu alt bölüm, operatif sözlükte de ifade edilen eşik kavrayışını, mekânın gündelik üretim pratikleri üzerinden kuramsal seviyede temellendirmektedir. Lefebvre'nin mekânın üretimi yaklaşımı, izlerin yinelemeli bir şekilde birikmelerle kalınlaşarak mekânsal örgütlenmenin nasıl kurulduğunu desteklerken, Soja'nın Thirdspace savı, üretimin çok katmanlılığını desteklemektedir. Sloterdijk'in küreler yaklaşımı ise sınır kavramının çizgisel bir kalınlık anlamının dışına çıkarak değişken bir eşik koşulu olarak ele alınması gerektiğini ön plana çıkarmaktadır. Kısacası ele alınan teorisyenlerin yaklaşımları temel alınarak; bölüm 2.2.1'de ritim ve mekân üretimi hattına odaklanılır. Bölüm 2.2.2'de ise eşiklerin ritim-zar diyalektiği üzerinden görünürlüğü tartışmaya açılır.

2.2.1. Lefebvre'nin Ritmanalizi ve Mekân Üretimi

İzlerin mekânda sadece nerede yoğunlaştığını odaklanmak operatif sistemin okunması açısından yetersiz bir veri vermektedir. Yoğunlaşmaların birikme gösterip belirginleşmeye başladığı anlar, zaman örgülerinin önemini tartışmaya açar. Nitekim eşik kuşakları, bekleme, yürüme, hız ve yön değişim durumlarında süregelen gündelik döngülerde kalınlaşarak bir ara katmana dönüşürler. Bu sebepten ötürü, mekânın statik bir plan olarak incelenmesi yerine ritmik örgütlenmenin okunması için analize dayalı bir yaklaşımı gereklilik haline gelir. Lefebvre'nin Ritmanaliz yaklaşımı mekânı, yer, zaman ve enerji etkileşimi sonucu tezahür eden pratikler alanı olarak kavramsallaştırır [Lefebvre, 2004]. Bu ekseninde ritim, bir tekrar durumundan çok yinelenme sürecinde üretilen bir eklemlenme protokolüdür. Bu nedenle analiz odağında, vurgu, tempo, aralık ve tekrar gibi periyodik devinim döngüleri yer alır. Bu döngüler aracılığıyla, mekân üretiminin zamansal olarak okunmasını sağlar. Ritmanaliz; süre, bekleme, hız değişimi, senkop ve sıklık gibi parametreleri mekânın anlam katmanını kuran analitik etmenler durumuna getirir. Bu noktada ritim yaklaşımı, sahada iz olarak belirginleşen jest örüntülerinin mekânsal karışıkları başta olmak üzere bunlardan türetilen metrik temsillerine çevrilerek uygulanabilir kılınır. Bu şekilde Ritmanaliz ekseni üretim hattı boyunca görünür hale gelir. Vurgu, tempo ve aralık parametrelerinin metrik ve mekânsal karşılıkları örnekleme yardımıyla okunması amacıyla **Tablo 2.2'**de verilmiştir.

Tablo 2.2: Ritmanaliz parametrelerinin mekânsal ve metrik karşılıkları.

Ritmanaliz boyutu	Kısa tanım (zaman)	Mekânsal karşılık (örnek)	Yapılan çalışmadaki olası metrikler
Tempo	Akışın genel hızı / ritmi	Koridor hız profili, merdiven iniş-çıkış temposu	Ortalama hız, hız varyansı
Vurgu	Öne çıkan ritmik an / yoğunlaşma	Vitrin önü yavaşlama, sahanlıkta duraksama	Duruş süresi pikleri, yoğunluk adası boyutu
Aralık	Olaylar arası süre / mesafe	İki karşılaşma arası süre, beklemler arası mesafe	Olaylar arası ortalama süre, aralık dağılımı
Tekrar (döngü)	Periyodik yineleme	Her gün aynı noktada verilen mola, rutin sapmalar	Günler arası iz üst üste binme oranı

Araştırma süresince ritmik okuma; yürüme, bekleme gibi jestlerin devinim durumlarının belirli odalarda birikimi ve kalınlaşması üzerinden gözlemlenir. İz burada, ritmin yer değiştirdiği, dağıldığı ya da sıkıştığı yerel pratiği ifade etmektedir. Bu noktada mikro sapmalar devreye girer. Bu okuma, mikro sapmaların sıkışmalar sonucunda birikerek kalınlaştığını ve bu kalınlaşmaların ise eşik kuşakları üzerinde ara katman olarak görünür hale geldiğini göstermektedir. Eşik, genişleyip daralabilen bir yoğunlaşma aralığı özelliği gösterir. Bu sebeple eşğin yöntemsel karşılığı, tekil bir kritik değer den çok, bağlama göre kalınlaşıp incelen bir ‘aralık’ olarak tanımlanan eşik bandıdır.

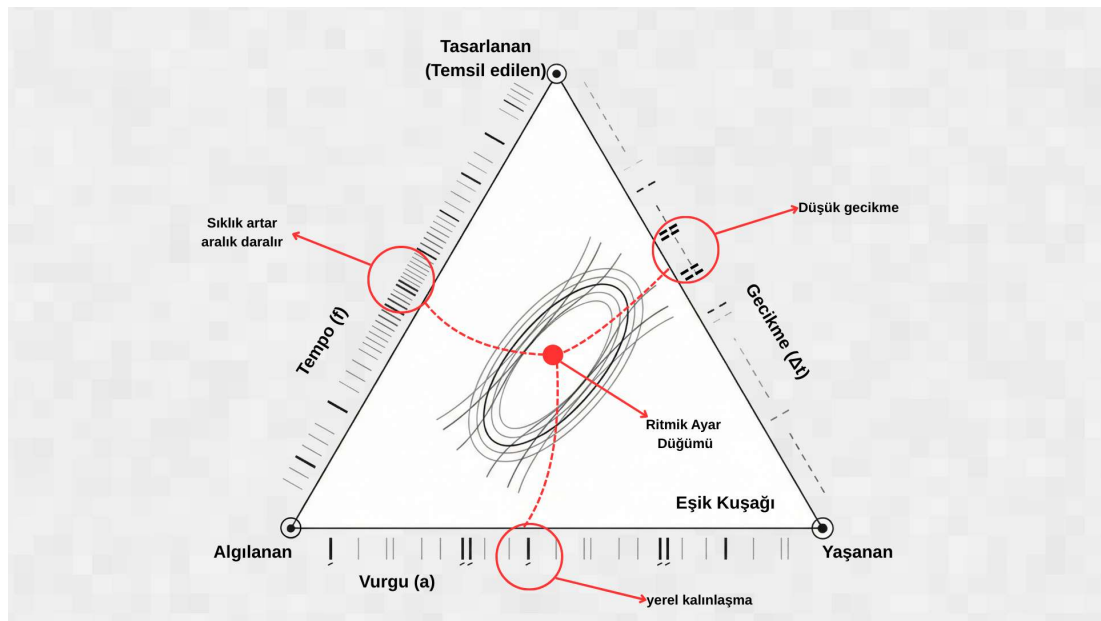
Aynı zamanda gündelik hayat tartışması, ritmik yaklaşımın eleştirel boyutunu öne çıkarır. Modernite, gündelik hayatı mutlaklaştırılmış bir dayanak noktası haline getirirken, aynı nokta diyalektik bir biçimde mikro sapmaların ve farklı ritimlerin zorunlu sahnesidir [Lefebvre, 2004]. Bu eksen de gündelik pratikler poliritmik⁴ bir eklemlenme durumu olarak okunabilmektedir. Eşik kuşakları bu poliritmik durumun ürünleri olarak belirginlik kazanırlar. Sıkışma, yoğunlaşma ve kısa süreli de olsa gerçekleşen çözülme; ince ayar durumunun (akışın birikim ve çözülme üzerinden yeniden kurgulanmasının) mekân katmanında gerçekleşen ritmik dönüşüm anları üzerinden okunmasına olanak sağlar.

⁴ Poliritmik durum (polirhythmic), Ritmanalizi yaklaşımı kapsamında gündelik hayatın farklı vurgu, tempo ve tekrar durumlarının aynı eksen de çakıştığı ve ayrıştığı çoklu ritim fikrini ifade eder [Lefebvre, 2004].

Bundan dolayı ötürü eşik kuşakları dolaşımın mekânsal düğüm noktaları ifade etmekle kalmaz ve ritimleri yeniden dağıtıldığı bir arayüz olarak okunabilmektedir.

Lefebvre [1991], mekânın üçlü diyalektiği yaklaşımında, mekânın üretiminin üç eksen üzerinden işlediğini belirtir. Bu doğrultuda; algılanan eksen gündelik kullanım ve dolaşım pratiklerini kapsarken, Tasarlanan (temsil edilen) eksen plan, kurumsal kodlar ve şemaları; yaşanan eksen ise göstergeler, imge ve deneyim odağını kapsar. Bu üç eksen birbirlerinden kopuk değildir. Kendi aralarında tempo, gecikme ve vurgu çeşitlenmeleriyle ritmik katman birikimi olarak okunabilmektedirler.

Bu birikim, birbirlerini ayarlayan ve bağlı parametreler aracılığıyla birlikte oluş göstermeleri olarak gözlemlenir. Mekânın üçlü diyalektiği yaklaşımı, yeniden ayarın gerçekleştiği eksenleri belirlemek açısından destekleyicidir. Bu sebeple eşik kuşakları; vurgu (a), tempo (f) ve gecikme (Δt)’nin ritmik bir izlek yoluyla yerel ölçekte hizalanıp saptığı noktalarda görünürlik kazanırlar (**Şekil 2.4**).



Şekil 2.4: Mekânın üçlü diyalektiğiyle ritmik ayar farkları [Lefebvre 1991; 2004].

Soja ise Lefebvre'nin mekânsal üçlemede ele aldığı ve ritmik yeninden ayar mantığında okunan yaklaşımını, Üçüncü Mekân⁵ (Thirdspace) savıyla destekleyerek genişletir ve gerilimin doğurduğu trialektik olarak yeniden tanımlar [Soja, 1996].

⁵ Thirdspace kavramı, Soja'nın Lefebvre'nin "mekânın üçlü diyalektiği" yaklaşımını referans düzlemi olarak mekân üretimi hattı üzerinde kuramsallaştırması üzerine kurulmuştur. Kavramın Türkçe karşılığı olarak metin içinde "Üçüncü Mekân" çevirisi kullanılmıştır [Lefebvre, 1991; Soja, 1996].

Bu yaklaşıma göre Üçüncü mekân, tahayyül edilen ve gerçek olanın birlikte işlendiği ve mekânın anlık temsil anlamından çıkarak bir üretim pratiği haline geldiği alanlar olarak tanımlanır. Araştırmanın operatif ekseninde bu kuramsal çerçeve, eşiği görünür kılan bir okuma kurgusu olarak ele alınır. Üçüncü mekânın temsil tekniği ve pratiklerinden birlikte yararlanması, bu noktada destek alınan bir argüman olarak okunmaktadır. Dolayısıyla eşik kuşakları, tasarım karar çıktılarının eklemlendiği ve izlerin metrik temsiller aracılığıyla deşifre edildiği bir operasyonel kurgu olarak araştırma çatısı altında şekillenir.

Bu üç eksenli okuma, eşik kuşaklarının bu üç eksenin anlık ayrışma ve çakışma anlarında belirginlik kazandığını gösterir. Tasarlanan eksen (norm, erişim, rota) ile gündelik pratiğin hizalandığı durumda bu akış kararlı bir duruma evrilir. Ayrışma durumunda ise yoğunlaşmalar ve mikro sapmalar katmanlaşarak eşik kuşağını kalınlaştırırlar. Böylece eşik, ritmik bir var oluş kazanarak süreğenlik kazanan zamansal örüntü durumunu alır.

Bu gerilim hattının gündelik hayat düzleminde nasıl işlediğini görünür kılmak için Lefebvre literatürünü yorumlayan ikincil bir okuma olarak Shields'a başvurulur. **Shields [1999]** ise Lefebvre'nin trialektik yaklaşımını bir rehber olarak ele alarak Gündelik hayat kavramına odaklanır [**Lefebvre, 1991**]. Gündelik hayatı monotonluk zemini üzerinden inceleyerek bu banallik (taken for granted) durumlarının dönüşüm sürecini otantik kırılma anları (moments of presence) olarak inceler. Bu gerilim anlarındaki direniş ve kaçışı vurgulayarak, gündelik durumların ritimlerin süreğen bir uzlaşısı içinde yer yer kırılımlar ile üretim zemini oluşturduğunu göstermektedir. Bu yaklaşım, eşiklerin yoğunlaştığı anlarda meydana gelen sapma ve anomalilerin hatadan çok gündelik müdahalelerin mekânsal izdüşümü olarak okunmasını sağlar.

Bu nedenle iz birikimleri, sadece tasarlanmış düzenin etkilerini göstermemektedir. Bu düzen içindeki sessiz katmanları oluşturan mikro taktik ve ritim farklılaşmalarının izlenebilir duruma dönüştüğü yerel ayar noktalarını da işaret edilir.

2.2.2. Ritim–Zar Diyalektiği

Sınır, mikro ve makro ölçek aralığında incelendiğinde çoğu zaman ayırma işlemini gören bir hat olarak anlaşılma potansiyelindedir. Fakat sınır sadece ayırma değil, aynı zamanda tutma ve yönlendirme gibi eylemler aracılığıyla filtreleme işlemi gören bir koşul özelliği gösterebilmektedir. Bu noktada belirleyici olan gündelik pratiklerin dönüşümün tetikleyici unsuru olmasıdır.

Sloterdijk'in küreler (spheres) yaklaşımı, mekânın sadece fiziksel sınırlardan çok toplumsal ilişkiler ve bedensel yakınlıklar vasıtasıyla kurulan birlikte varoluş alanı olarak ele almaktadır. Bu noktada Spheres Trilogy (1998-2004) yaklaşımı, mekânsal deneyim olgusunu antropolojik bir alt taban doğrultusunda ele alarak, mekân oluşumunu varlık alanının ilişkiselliği üzerinden tartışır. Bu ilişkisellik üç ölçek üzerinden ilerler. Baloncuk (Bubbles), aktörün mahremiyet alanı ve kapsüller (kinesferler⁶) arasındaki kesişim noktalarını tanımlarken; Köpük (Foam) ise çok sayıda kapsülün (çoğul kinesfer yapısı) bir araya gelerek yan yana eklemelendiği ama bütünleşik bir yapıya dönüşmediği geçici birliktelikleri tanımlar [Sloterdijk, 2011; 2014; 2016].

Son kapsayıcı ölçek olan Balon (Baloon), aktörlerin paylaştığı ortak çevreyi geniş çerçevede tanımlamaktadır. Üç ölçek üzerinden ele alınan bu kurgu, araştırmanın eşik üzerinden mekânı okumasıyla ilişkilendirilir. Nitekim Baloncuk, Köpük ve Balon izleği, sınır kavramını sadece çizgisel bir bölücü olmaktan çıkararak, temasın hassas bir şekilde ayarlandığı bir arayüz olarak ele alınmasını sağlar. Eşik kuşaklarında gerçekleşen birikim ve kalınlaşma işleyişi, bu tür komşuluk ilişkileri aracılığıyla görünür hale gelir. Aktörlerin kinesferlerinin etkileşime geçtiği durumlarda, bazı noktalarda geçiş dinamikleşirken, bazı noktalarda ise yön sapması, duraksama ve bekleme gibi mikro jestlerde çeşitlenme meydana gelir. Dolayısıyla eşik, geçişin vuku bulduğu bir durum olmaktan çok yakınlık, temas ve yönelim ilişkilerinin yerel olarak (mikro mekânsal düzeyde) yeniden yapılandırıldığı bir aralık protokolü olarak çalışır.

⁶ Kinesfer (Kinesphere): Rudolf von Laban tarafından geliştirilen kavram, bedenin ayakları sabit bir destek noktasındayken, uzuvların her yöne uzanmasıyla ulaşabileceği maksimum hareket hacmini ve kişisel mekân sınırlarını tanımlamaktadır [Laban, 1966].

Bu üçlü yaklaşım, eşiği farklı etkileşimlerin yan yana gelerek eklemlendiği bir köpüksü bir paradigma olarak okunmasına imkân verir. Bu sayede, Çalışmada ele alınan eşik kuşağı yaklaşımının kavramsal zemini desteklenerek güçlendirilir.

Bu çerçevede sınır salt anlamını aşarak, birlikte mevcudiyet (simbiyotik etkileşim) durumunu mümkün kılan zar olarak okunmasına imkân verir. Kabarcık ve Köpük imgeleri aracılığıyla, mekânın oluşum sistemi komşu hücrelerin zar yönlendirmesiyle mevzilendirildiği bir sistem olarak tasavvur edilir. Bu zar okuması sınırı, çizgisel lineer sistem ile beden jestlerinin birikimiyle belirginleşen iz arasındaki gerilimi görünür kılar. **Sayın [2024]**, Çizginin Boşluğu kitabında Arşimedgil şekilde iki nokta arasında kurulan en kısa yol olan çizgiyi (rectitudo), belirlenmiş ve yönlendirici bir mülkiyetçi iktidar sistemi ve navigasyon altyapısı olarak yorumlar. Bu şekilde doğrusal yaklaşımın mekânı, istatistiksel, ölçülebilir ve derinliği olmayan bir anlama indirgediğini savunur. ‘El, jest ve çizgi takımyıldızı’ olarak ele aldığı yaklaşımdan doğan iz, yazının ve hareketin belleğini barındıran katman olarak görünür kılınmaktadır. Bu perspektifle bakıldığında eşik, anlık bir koordinat olmaktan çıkarak izlerin süreç içinde zamansal olarak biriktiği bir katman niteliğinde olduğu okunabilmektedir. Bu sebeple bedensel jestlerin zaman kavramına bağlı olarak ürettiği iz yoğunlaşmaları eşik oluşumunun kavramsal olarak anlaşılması açısından kılavuzluk etmektedir. Ayrıca zar yaklaşımı, tezde bedenin Grid⁷ (Izgara sistemi) yüzeyle ilişkililmesi üzerine okunmaktadır. Beden kaynaklı kinesferin başkalaşımı, temas ve ritmik tekrarlar; Grid yüzeyinin bedensel hareketler aracılığıyla yeniden şekil alabilen bir yüzey olarak okunmasını sağlar.

Soja’nın [1996] Üçüncü mekân yaklaşımı ise bu katmanlı yapıyı hibrit bir okumayla güçlendirir; mekânın fiziksel sınırların ötesinde bedensel ve toplumsal deneyimlerin bir ara kesiti olarak ele alır. Bu noktada grid yüzeyinde kaydedilen her temas ve iz, morfolojik bir değişimin yanı sıra, etkileşim ve mekânsal temsilin veriye dönüştüğü versiyon olarak gözlemlenebilmektedir.

Zar ve iz hattı bir arada değerlendirildiğinde, eşik kuşaklarının gündelik pratiklerin, temsillerin ve birlikte mevcudiyet (komşuluk) durumunun eşzamanlı üretimi içinde

⁷ Grid, mimarlık ve tasarım literatüründe, mekânsal ilişkileri veya veriyi düzenlemek amacıyla kullanılan, birbirini dikey ve yatay doğrultuda kesen çizgiler sistemi olarak tanımlanır [**Krauss, 1979**]. Kavram Türkçede ‘izgara’ terimiyle karşılanırsa da dijital ortamdaki koordinat düzlemlerini, modüler veri ağlarını ve bedensel hareketlerin üzerine oturduğu kuramsal zemini tanımlamak için teknik bir terim olarak tercih edilmiştir.

oluşan bir hibrit arayüz olduğu belirginleşmiş olur. Kuramsal alt yapısının oluşum aşamasında olduğumuz Üretken piksel yaklaşımı bu hibrit durumu operatif bir seviyeye götürür. Bedensel izleri anlık ama etkili karşılaşmalar yaratan bir arayüz katmanına dönüştürür. Bu dönüşüm aşaması, eşik kuşaklarının ayar gereksinimiyle çalışan bir sistem özelliğini kazanması açısından kavramsal zemini hazırlamaktadır.

Zar bu noktada, kuşağın geçirgenlik, yönlendirme ve tutulum gibi dinamikleri koşullara bağlı olarak ayarlayan bir arayüz sistemi haline gelir. Bu aşamada zarın ayar mantığı bu üç eksen üzerinden okunabilmektedir. Geçirgenlik, bedensel akışın yüzey ve çevre tarafından geçirimsizlik düzeyi olarak okunabilirken, yönlendirme ise akışın hizalandığı hatların belirlenmesi ve karşılaşmaların düzenlenme biçimi olarak okunabilir. Tutulum ise eşik kuşağı üzerindeki birikim miktarının dengelenmesini tanımlamaktadır. Fakat bu eksenler tek başına aşırılık durumu gösterdikleri durumlarda, zar koşullarının yanlış okunmasını neden olabilmektedir. Bu sebeple zar, sabit bir optimum koşul sağlayıcı olmaktan çok, yerel ve zamansal durumlara bağlı ayarlanabilen bir kalibrasyon protokolü olarak düşünülmelidir.

Bir önceki bölümde ele alınan **Lefebvre'nin [2004]** Ritmanaliz yaklaşımı, Zar tartışmasında ritim etkileşiminin ilk ayağını oluşturur. Ritmanalize göre ritim, tekrar eden bir düzen anlamından çok tekrar içinde fark üreten bir örgütlenme mantığıdır. Bu mantık, Eşiğin zaman içinde belli noktalarda yoğunlaşan ve seyrekleşebilen zaman katmanlaşmaları olarak görünür hale geldiğini düşündürür. Dolayısıyla İç ve dışı keskin bir hatla ayırmak yerine eşiği; temas noktalarında ritmik dokunun değişerek bir kuşak konfigürasyonuna dönüşebildiği heterojen bir yapılanma olarak okumak mümkündür. Söz konusu konfigürasyon, geçişin yer tespitiinden çok oluş sebebini (bekleme, ivmelenme) çözümleyen metodolojik bir izlek oluşturur.

Bu çerçevede eşik kuşaklarının kalınlaşıp incelme davranışı, tek bir ölçek üzerinden okunamaz. Nitekim hem Sloterdijk'in "köpüksü" komşuluk yaklaşımı hem de Lefebvre'nin poliritmik örgüsü; temas, yakınlık ve yönelim ilişkilerinin farklı zaman pencerelerinde farklı yoğunluklar üretebildiğini göstermektedir. Bu nedenle çalışma, ritim–zar diyalektiğinin işleyişini analitik olarak üç düzeyde okumak mümkündür.

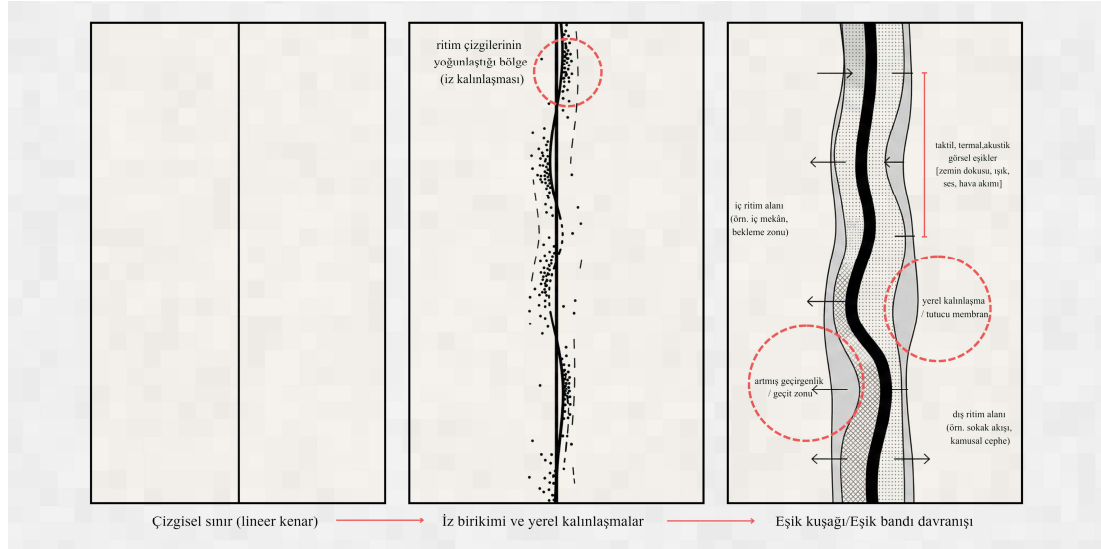
Mikro mesafe, tekil bedensel jestlerin ürettiği uzun süreli olmayan eşik titreşimlerini tanımlar. Genellikle duraksama, mikro yön sapması ve ağırlık aktarımı gibi jestler üzerinden gözlemlenir. Mezo akış ise komşu hareket alanlarının yoğunlaşma, sürtünme ve hizalanma gibi ilişkileri sonucu şekillenen ara kuşakları tanımlar. Nitekim mezo akış, kuşak üzerindeki uzama ve sıkışma noktalarını ve yön vektörlerinin bütünleştiği ya da farklılaştığı örüntüleri okuyan ara ölçekli bir kurulum eksenini işlevini de görmektedir. Makro zaman, toplumsal yoğunluk evreleri olan etkileşimin arttığı saatlerde, atmosferik döngüler ve kurumsal protokoller üzerinden kalınlaşan eşik pratiğini ifade edilir. Bu ekseninde eşik, anlık bir karşılaşma yerine, belirli periyotlarda tekrarlanan çözülme ve yığılma çevrimlerinin sonucu üretilen süregelen bir ayar gereksinimi halini alır. Bu üç yaklaşım, literatür tartışmalarında ele alınan ritim ve komşuluk ilişkilerinin sayısal sisteme aktarılmadan önceki eşikte, eşik kuşağı ve zar olarak gerçekleştirdiği fonksiyonel kurguyu operatif bir şekilde sınıflandırır (**Tablo 2.3**). Eşik bandı bu sınıflandırmada, yöntemsel ekseninde işleyen aralık temelli muadili olarak ele alınacaktır (Bölüm 5 ve 6). Ayrıca bu sınıflandırma sistemi, aynı çakışma noktalarının farklı zaman pencereleri yani periyotlar üzerinden farklı ritimlerle çalışabildiği göstermektedir.

Tablo 2.3: Mikro mesafe, mezo akış ve makro zaman ölçeklerinin eşik üzerinden karşılaştırılması.

Ölçek	Adı	Ne İfade Eder?	Nerede Görünür?	Tipik Eşik Davranışı
Mikro düzey	Mikro-Mesafe	Jestlerin bıraktığı anlık mikro-izler, kırılğan sapmalar, tempo değişimleri	Adım ritmi, beden yön kırmaları, duraksama mikrodinamikleri	İnce geçitler, hızlı ayarlanan lokal membran incelmeleri
Mezo düzey	Mezo-Akış	Komşu akışların sürtündüğü, gradyan oluşturduğu ara bölgeler	Koridor-meydan geçişleri, nişler, yön değiştirme adacıkları	Yönlü doku bandı, akışa hizalanmış eşik gradyanları
Makro düzey	Makro-Zaman	Kurumsal zamanlar, pik yoğunluklar, atmosferik döngüler	Sabah-akşam pikleri, servis saatleri, çevresel rejimler	Kalınlaşan tutuluma dayalı membran ayarları, geniş açıklık kararları

Mezo akış aşaması, **Sayın [2024]**'in ağ (network) ve örgü (meshwork) ayrımıyla birlikte düşünülebilir. Ağ yaklaşımı, atkı ve çözgüler aracılığıyla mekân ve zaman koordinatlarına sabitlenmiş bir dokuma mantığını ifade ederken; örgü, mantar miselyumlarının sınırsızca yayılan sistemiyle benzer olarak işleyen ipliklerin, kendi izine dönüştüğü ve düğüm anlamının ötesine geçtiği bir devinim olarak ele alınır. Bu bağlam üzerinden mezo akış ölçeğindeki eşik, koordinatları belirgin bir sabit sistem

olmaktan çıkararak, ritimlerin, bedensel hareketlerin ve izlerin birbirine yedirildiği bir düğüm (kalınlığın arttığı) noktası olarak okunabilmektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5: Çizgisel sınırdan kalınlaşan eşik bandına ve zar davranışına geçiş şeması.

Eşiğin örgüsel olarak kalınlaşma fikri, mimarlık literatüründeki farklı yaklaşımlarda da karşılık bulmaktadır. **Boettger [2014]**, Joedicke üzerinden geliştirmiş olduğu arasallık (between-ness) kavramı üzerinden kalınlaşma mantığını mimari bir hareket mekânı olarak ele alır. Boettger geçiş alanının. Yürüyüş, duraksama ve yön değiştirme gibi eylemler aracılığıyla hareket mekânı (movement space) olarak kurulduğunu belirtir. Eşik bu kapsama göre, iç ve dış ayrımının askıya alındığı, kararın yoğunlaştığı ve deneyimin zaman katmanları olarak ele alındığı çift durumlu bir protokol olarak okunabilmektedir. Bundan dolayı çalışmada ele alınan eşik kuşakları, Sayın'ın örgüsel devinim yaklaşımı ve Boettger'in hareketle şekillenen arasallık yaklaşımıyla kuramsal zeminde desteklenir. Ayrıca **Teyssot'nin [2008]** membran yaklaşımı zar mantığını ele alır. Ona göre membran (zar); ışık, hava, gürültü, bakış ve mahremiyet protokollerinin dereceli bir şekilde filtrelendiği bir arayüz olarak okunur. Eşik kuşağı bu yaklaşım çerçevesinde, bağlama ve zamana duyarlı bir filtreleme rejimi olarak okunabilmektedir.

Netice itibarıyla ritim-zar diyalektiği araştırmanın operatif sisteminde kurmaya çalıştığı mantık şu şekildedir: İlk olarak ritim türleri, eşik kuşağının hangi koşullarda çalışacağını belirlerken; zar ayarı ise mekânsal karşılığı olan ayar gereksinimi durumunu tanımlamaktadır. Bu ince ayar protokolü, eşik kuşağı üzerinde ölçülen yönlendirme, yerel birikim ve geçirgenlik gibi parametrelerin tekrar düzenlemesini

kapsar. Örnek bir okuma olarak süregelen ve yönlü akış koşullarında kuşağın gözenekli bir mekanizma olarak geçite izin veren bir kipte çalışması verilebilir. Bu durumda Yığılma ve bekleme durumunda kuşakta tutan kipte kalınlaşma meydana gelir. Ani yön sapmalarının ve kırılmaların olduğu noktada ise hizalayan bir kipte çalışması beklenir. (Tablo 2.4). Bu yaklaşım sayesinde eşik, ritim ve ayar gerekliliği doğrultusunda net bir cevap alarak arayüz mantığını kuvvetlendirir. Kısacası mikro, mezo ve makro sınıflandırmaları, eşik bandının oluşum anı ve konumunun seçimindeki kuramsal dayanağı kurarak, zar ayarı mantığını ölçüm ve kalibrasyon protokolüyle ilişkilendiren bir aracı rolü görür.

Tablo 2.4: Ritim türleri ile zar ayarları ilişkisi.

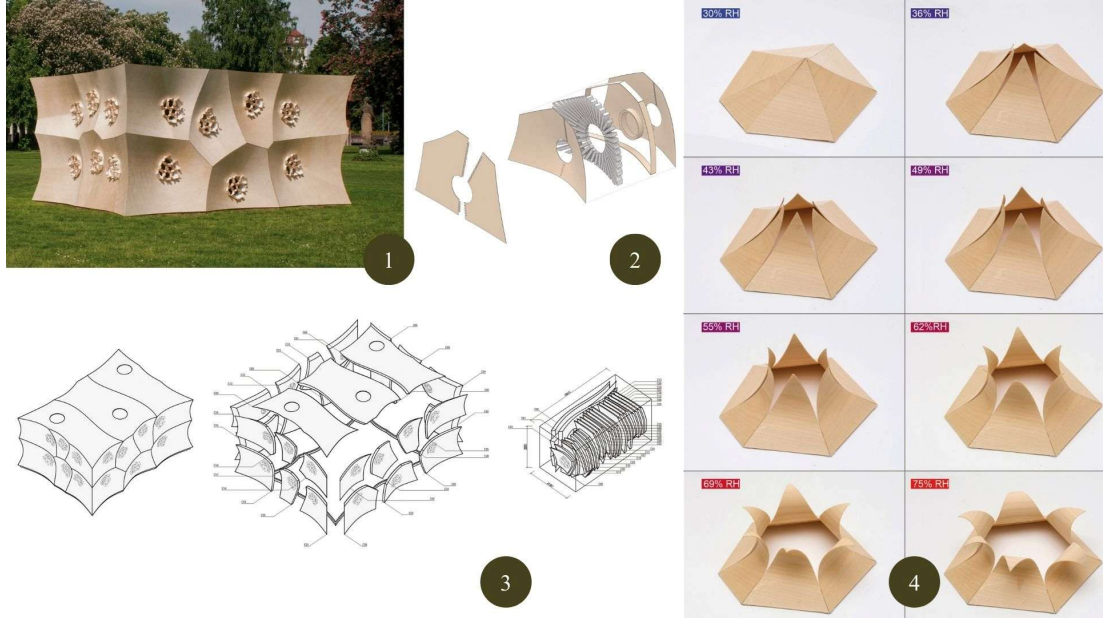
Ritim türü	Ritimsel özellik	Ölçülebilir iz metrikleri	Önerilen zar/membran ayarı	Tasarımsal müdahale örneği
İstikrarlı yoğun akış	Yüksek debi, düşük yön sapması, kısa duruş	Yoğunluk: orta–yüksek; yön sapması: düşük; duruş süresi: düşük	İnce, geçirgen, düşük sürtünmeli membran	Akış yönüne paralel zemin dokusu; kesintisiz yürüme şeritleri
Yığılma / çarpışmalı bekleyiş	Düşük hız, uzun duruş, çarpışma riski	Yoğunluk: yüksek; duruş süresi: yüksek; sapma: orta–yüksek	Yerel kalınlaşma, tutucu membran, nefes cepleri	Genişleyen bekleme cepleri; akış ayırtıran bariyerler; bekleme çizgisi + oturma
Ani yön kırılması / ters akış	Ani yön değişimi, karışık akışlar	Yön sapması: çok yüksek; ani hız değişimi: yüksek	Anizotropik, yönlü membran; kontrollü geçit	Ayrı giriş–çıkış şeritleri; kavşaklarda geniş “karar adaları”; yön okları
Isıl odak / aşırı ısınan bölge	Yüksek ısı, uzun bekleme, ağır tempo	Isıl yoğunluk: yüksek; duruş: yüksek; rüzgâr: düşük	Gölgeleme + artmış geçirgenlik; termal boşaltım	Gölge bandı; geçirgen üst örtü/cephe; hava akımı sağlayan açıklıklar
Sessiz / seyrek akış (potansiyel hareket ağı)	Düşük yoğunluk, yüksek boşluk, latent hareket	Yoğunluk: düşük; duruş: orta; potansiyel rota sayısı: yüksek	İnce ama gözenekli membran; potansiyel geçitler	Hafif ışık/zemin izleriyle olası rotaların işaretlenmesi; oturma–geçiş hibrit nişler

Bu noktada **Tablo 2.4**’te kurulan ilişki, ritim–zar diyalektiğinin bu çalışmadaki temel iddiasını netleştirmektedir.

Yerinde ayar⁸, eşik kuşağının işleme katıldığı (geçit veren, tutan ve hizalayan) kipler üzerinden bağlama ve zaman pencerelerine duyarlı bir protokol olarak okunur. Bu protokol mantığı, kuramsal bir öneride kalmayarak, mimari arayüzlerde yerel ve zamansal olarak işletilebilen “ayar yüzeyi” örnekleri üzerinden de izlenebilir.

⁸ Tez boyunca yerinde ayar kavramı, eşik kuşaklarında biriken izlere bağlı olarak arayüzdeki yerel çalışma kiplerinin (geçit verme, tutma ve hizalama) bağlandığı ve zaman pencerelerine duyarlı biçimde yeniden düzenlendiği (kalibre edildiği) durumları ifade etmektedir.

Menges vd.'in [2013] higro-reaktif ahşap panellerle geliştirdiği “HygroSkin” projesinde gözlemlemek mümkündür. Bu projede zar, sensör tabanlı teknik bir sistemden çok, malzeme özelliklerinin nem duyarlılığıyla etkileşimi üzerinden işlemektedir. Çift katmanlı ahşap modüller; ortam nemi, ışık ve hava geçirgenliğine bağlı olarak bükülüp açılma davranışı gösterir (**Şekil 2.6**). Yerinde ayar mekanizması, bu sistemde çevresel koşullar bağlamında malzeme seçimi doğrultusunda şekillenir.



Şekil 2.6: HygroSkin cephe sistemi zar davranışı analizi. [Web 1]'den uyarlanmıştır.

2.2.3. Yer, Okunaklılık ve Yerinde Ayar Gereksinimi

Eşik, bedenin anlık duraksama, yön kırılması gibi jestler aracılığıyla, karşılaşma durumunu müzakere ettiği mikro anlarda belirginleşmektedir. Dolayısıyla “yerinde ayar” ihtiyacı, salt akış performansını artırmaya indirgenemez. Bu sebeple belirsizlik koşullarını yönetebilen, yönelim göstergelerini okunur hâle getiren ve geçişi daha düşük sürtünmeyle işletilebilir kılan bir müdahale rejimi olarak düşünülmelidir. Yerinde ayar gereksinimi, mikro mesafede açığa çıkan tereddüt ve jest kırılmaları üzerinden okunur. Mezo akışta düğüm ve geçiş bantlarının eklemlenmesiyle okunurken, makro zamanda ise periyot ve protokollerin süreğenliği üzerinden okunabilmektedir.

Bu anlamda yer tartışması, yerinde ayar durumunun sadece biçimsel bir düzenleme olmadığını, aynı zamanda deneyim odaklı parametreler üzerinden kalibre edilen bir arayüz politikası olarak netleşmektedir. **Norberg-Schulz [1980]** yer kavramını, bedenın algısal alanı ve varoluşsal düzlemi üzerinden ele almaktadır. Mevsim, ışık, hava gibi atmosferik öğelerin ilişkilerinden doğan mekân karakterini; mekânın ruhu (genius loci) olarak tanımlamaktadır. Araştırma açısından bu vurgulanan kısım, eşik kuşaklarının devreye giren ayar aracılığıyla, akışı teknik bir şekilde düzenlemesinden çok, yerin karakterini koruyan ve belirginleştiren bir yeniden okuma rejimi olarak ele alınması gerektiğini düşündürür. **Lynch'in [1960]** imgelenebilirlik (imageability) yaklaşımı bu koşul durumunu, yönelim kurmaya imkân veren bilişsel bir zemin olarak kavramsallaştırır. İmgelenebilirlik tartışması, yönelim kurma kabiliyetiyle bilişsel bir altyapı üzerinden okunabilmektedir. Çevre bu noktada, kenarların ayırt edilebilirliği ve kentsel düğüm noktaları gibi gösterge okumalarıyla belirsizliğin azalmasına yardımcı olur. Bu sebeple eşik kuşakları, rota sürekliliğinin kırıldığı ve alternatiflerin çoğaldığı anlarda okunaklılık kaybının görünür hale geldiği bir sınama sahasıdır.

Dolayısıyla eşik kuşaklarında belirsizliğin artmasıyla birlikte sadece yönelim kararlarında bir artış meydana gelmez. Kullanıcının yer ile kurduğu yakınlık ve aidiyet kipleri de bir dönüşüm sürecine girer. **Relph [1976]** içeridelik ve dışarıdalık (insideness, outsideness) sürekliliği ile, yönelim durumunu “bulma” meselesi olmaktan çıkarak, yerle kurulan yakınlık ve aidiyet kiplerinin aşamalı bir ilişki süreci olarak açıklar. Eşik kuşaklarında aktörlerin yönelim kararlarını sıklaştıran bu durum, aynı zamanda mekanla doğrudan kurulan (temas, kaçınma) yakınlık kiplerini yeniden düzenlediği bir durum olarak okunabilmektedir. Üç yaklaşım birlikte, eşik kuşakları üzerinden ilerleyen ve gelişen müdahalelerin bir başarı ölçütü olarak belirginleşebildiğini göstermektedir. Yerinde ayarın temel amacı, belirsiz müdahalelerin arttığı bu noktalarda, kısıtlayıcı bariyerlerle bir çözüm bulmaktan çok, ince ayarlı ve bağlam koşullarına duyarlı göstergelerle dengeleyebilmektir. Böylece eşik, kararın daha güvenli, daha okunur ve daha düşük bir sürtünme durumuyla oluşabildiği bir arayüz halini alır.

Diğer taraftan yer duygusu açısından kritik olan nokta, ele alınan örneklerde gözlemlendiği gibi; belirli odalarda kalma niyeti ve mikro yerleşimlerin sürdürülebilirliğidir. Norberg-Schulz'ün karakter vurgusuyla Relph'in içeridelik

olgusu birlikte düşünülürken eşik kuşakları, geçiş kipi dışında kısa süreli duruşlar, beklemler ve eşzamanlı kullanım gibi edimler üzerinden yerel bir atmosfer ürettiği gözlemlenir. Çalışmada karar envanteri, bu zıt kutuplu durumu bir çelişkiden çok, çeşitli eşik koşullarında farklı ağırlıklar aracılığıyla işletilen bir denge problemi olarak ele almaktadır.

Bu yaklaşım doğrultusunda; karar süreçleri, kararların hizmet ettiği niyet durumları üzerinden tanımlama yapmayı amaçlar. Bu çerçevede, ilerleyen bölümlerde ele alınacak ve protokol bazlı detaylandırılacak olan karar aileleri, üç deneyimsel hedef kümesi altında ele alınabilmektedir: Yönelim kararlılığı, eşik kuşaklarında rota belirsizliğinin azaldığı anlarda kılavuz göstergelerin belirginleşmesini tanımlarken, Yer kararlılığı ise kısa süreli duruşların ve mikro yerleşimlerin yer karakteri ile uyumlu konfor üretmesini ifade etmektedir. Sürtünme azalması, karşılaşma ve yığılma anlarında çözülmeyle birlikte akışın yeniden kurulduğu durumlardır. Bu durumlarda eşikler, müzakere edebilir bir aşamaya evrilirler. Bu hedefler, yerinde ayarın deneyimsel gerekçesini özetleyen bir değerlendirme çerçevesi sunar (Tablo 2.5).

Tablo 2.5: Eşik kuşaklarında yerinde ayarın başarı ölçütleri ve hedefler.

Kuramsal hat	Ana kavram	Eşik kuşağında problem işareti	“Yerinde ayar” deneyimsel ölçütü	Müdahale dili	Kentsel örnek
Norberg-Schulz (1980)	Yer= karakter/atmosfer(genius loci) - (ışık,hava,zemin,sınır bileşimi)	Akış düzenlenirken yerin karakterinin silinmesi; arayüzün “anonimleşmesi”	Ayar, akışı düzenlerken yerin karakterini korumalı ve okunur kılmalı; süreklilik hissini güçlendirmeli	Zemin sürekliliği, malzeme,doku geçişi, ışık ve gölge ritmi, kenar,çeper kalınlaştırma, mikro barınma koşulları	Rüzgâr alan iskele hattı geçiti: akış açılırken mekân “boş koridor”a dönmeyin; karakteri taşıyan zemin ya da kenar devam etsin
Lynch (1960)	İmgelenebilirlik/Okunaklılık ıpuçları (bağlantı, kenar, düğüm, işaret)	Belirsizlik artışıyla birlikte; duraksama, geri dönüş, hız kesme, mikro yön sapması	Ayar, belirsizliği azaltmalı. “rotanın devamı”nı güçlendirmeli; karar yükünü düşürmeli	Süreğen kenar izi, yön vektörü ipuçları, işaret yoğunlaştırma, kademeli zemin/doku, ışık şeritleri, yerel genişleme/daralma	Turnike önu (aktarma eşiği): bariyerle değil; zemin dokusu ve ışık şeridiyle yaklaşma hızı düşsün, geçiş okunur olsun
Rolph (1976)	İçeridelik-dışarıdalık: yakınlık/aidiyet kipleri	Yönelim kararı sıklaştıkça yakınlık kipi kırılması; tereddüt/kaçınma; “burada kalmır mı?” gerilimi	Ayar, kalma ve geçme kiplerini cezalandırmadan yönetmeli; güven/tereddüt dengesini kurmalı	Mikro “kalma(bekleme) cepeleri”, eşzamanlı kullanım tamponu, tutulum/konfor yüzeyi, kenar oturumu, görüş ve mesafe ayarı	Daralan geçitte karşılaşma: yalnız akışı itirme değil; kısa duruşu mümkün kılan yan cep
Yerinde Ayar	Eşik kuşağı = kip değiştiren arayüz	Aynı düğüm noktasının farklı zaman pencerelerinde farklı çalışması	Ayar, tekil çözüm değil; kipler arası denge kuran rejim olmalı	Geçirgenlik,tutulum,yönlendirme parametreleri	Köşe kırığı ve durak önu: rotanın devamı ve kısa bekleme birlikte yönetilir

2.3. Bedenin Performatif Hareketleri ve Mekânın Deneyimlenmesi

Bu bölüm, bedenin gündelik devinimleriyle oluşan olay örüntülerinin mekânsal örgütlenmeyi dönüştürme yollarını, performatif jest ekseninde operatif bir okuma rejimine çevirmeyi amaçlar. Eşik kuşaklarının görünür hâle geldiği koşulları ve bu görünürlük anında yerinde ayar gereksinim sebeplerinin açıklamaktadır. Bu sebeple bölüm, şu operatif soru dizisine odaklanmaktadır:

- Hangi olay dizileri eşik kuşağı üretir?
- Kuşak hangi göstergeler üzerinden okunabilir?
- Kuşak hangi karar ailelerini gerektirir?

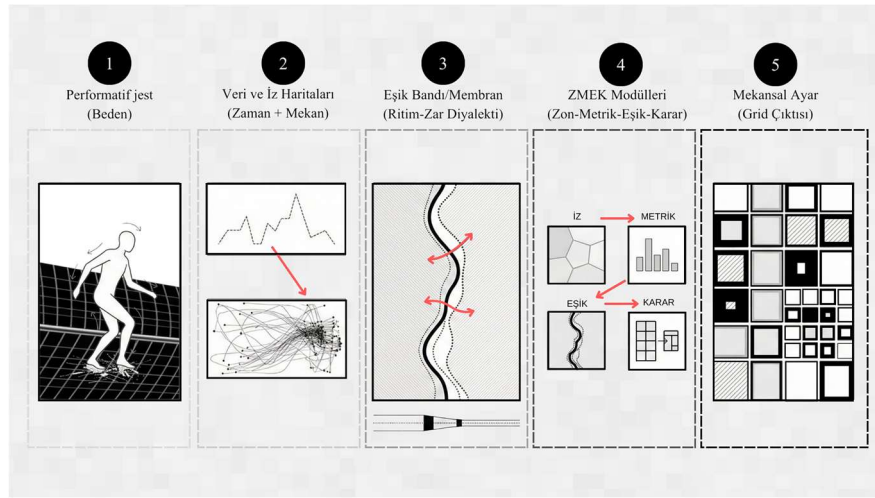
2.3.1. Bedenin Performatifliği: Mekânı Değiştiren Hareket

Çalışma, ‘performatiflik’ kavramını salt temsil üretiminden çıkararak, mekânsal örgütlenmenin oluşum aşamalarının sorgulanıp üretilebildiği bir operatif temele taşınır. Performatif jest; süregelen eylemlerin eşiklerde bırakmış olduğu izleri, yerel ekseninde ‘yerinde ayar’ protokollerini tetikleyebilen devingen bir entegrasyon sürecine dönüştürmektedir.

Performatifliğin ana mantığı, **Butler’ın [1999]** yaklaşımları doğrultusunda; edimin önceden verilmiş bir özün ifadesi ve temsili olmaktan çok toplumsal kalıplar üzerinden yineleyerek ve alıntılayarak beden üzerinde ürettiği bir düzen oluşumudur. **Grosz [2001]** ise bu yaklaşıma paralel olarak, performatif durumu mekânı yalnız içinde bulunulan bir kap olmaktan çıkarabilen, sınırların hangi durum ve yerleşmelerde yoğunlaşıp çözülebileceğini tarif eden ve belirleyen; dinamik ve üretken bir arayüz olarak tanımlar. Ayrıca bedeni bu bağlamda, sabit ve kapalı bir bütünden çok, sınırları süregelen şekilde yeniden kurulan, akışkan ve geçirgen bir maddesellik olarak tahayyül edilir. Nitekim odak noktası, performatif durumun tanımlanmasından ziyade tekrarlı durumlar üzerinden üretilen bu sınır yoğunlaşmalarının ne tür izlere dönüştüğünü tespit etmek ve bu izlerin koşullara bağlı olarak nasıl bir ayara ihtiyaç duyduğunu

belirlemektir. İzlenebilirlik, mikro izlerden eşik bandına ve makro-zamansal yerinde ayar kararlarına varan ölçekli bir okuma süreci çerçevesinde kurulmaktadır.

Bu noktada tekrar örüntülerinin eşik kuşağına kazandırmış olduğu görünürlük durumu, yönlü doku(anizotropi), porozite, çözünürlük ve rijitlik gibi parametreleri ⁹ kapsayan karar taksonomilerinin operatif olarak aktifleştirmesinde rol oynar. Ayrıca bu operasyonel döngü, **Şekil 2.7**'de performatif jestin sahadaki izinden başlayarak metrikleştirme, eşik bandı tanımı ve yerinde ayar kararlarına uzanan adımlarıyla birlikte ele alınmaktadır.



Şekil 2.7: Performatif jestten ZMEK kararına akış şeması.

Bu operatif dönüşüm, **Tschumi'nin [1996]** ele aldığı olay-mekân (event-space) yaklaşımı üzerinden kuramsal temel olarak desteklenir. Bu yaklaşıma göre mekân, olay ve eylemlerden bağımsız düşünülemez. Olaylar mekânın olası kiplerini arttırarak, temsili şemayı bazı noktalarda izler; bazı noktalarda ise bükerek yeniden dağıtır. Araştırma, bu yaklaşımın hipotezi olan; planı tamamlanmış bir şemadan çok icrayla sürekli sınanma durumu olarak görme şekline dayandırılmaktadır. Durumun irdelenmesi açısından Kentsel bir mekân örneği olarak kavşak köşe düğümünde, yaya sirkülasyonunun odaklandığı, kaldırımın yerel olarak daraldığı ve yanında durak cebinin akıştan geçici bir ayrışma ve konaklama olanağı yarattığı bütünleşik eşik durumları ele alınabilir.

⁹ Burada sözü edilen parametreler, eşik bandının fiziksel ve operatif niteliklerini tanımlayan karar aileleri olarak ele alınmaktadır. Porozite, mekânsal geçirgenlik ve boşluk oranını ifade ederken, anizotropi ise dokunun yöne bağlı olarak farklılaşan yönlendirme ve direnç özelliğini gösterir. Rijitlik, yüzeyin yerel ölçekteki sertleşme ve uyumlu kalma aralığını tanımlarken, çözünürlük ise müdahalenin mikro ve makro ölçekteki taneciklenme düzeyini ifade eder.

Karşılaşma anlarında hızın düşmesi, yol vermek için yapılan geri çekilme hareketi gibi jestler kısa aralıklarla tekrarlayarak eşik bandını kalınlaştırırlar. Akıştan çekilme ve bekleme alanına geçiş durumunda yerleşme mikro edimleri eşik kuşağı üzerinde birikir. Bu durum sonucu yerel olarak kalınlaşan eşik kuşağı gözlemlenir.

Nitekim her gerçekleşen mikro olay, bir sonraki olayı koşullandırmaktadır. Böylece karar yoğunlaşması, belirli bir mesafe boyunca taşınabilmektedir. Yerinde ayar yaklaşımı tam da bu gözlemler doğrultusunda, ideal bir form arayışından çok, olay örüntülerinin kuşağı hangi mekânsal düzlemde ve hangi işleyiş biçimiyle ürettiğini okur ve elde ettiği bu okunaklı çevresel ipuçları (göstergeler)i belirsizliği optimize eden bir arayüz müdahalesi olarak uygular. Bu örnek üzerinde çevresel ipuçları yani göstergeler olarak, daralma öncesinde akışı hizalayan süreğen kenar izi, geçiş öncesi yaklaşma hızını aşamalı düşüren zemin ve doku katmanı, durak cebinde geçici konaklamayı mümkün kılan yerel genişleme ele alınabilmektedir.

Olayın kinematik perspektifiyle birlikte kuvvet alanıyla olan ilişkisi göz ardı edilmemelidir. **Massumi [2002]**, hareketin doğuşunu tetikleyen ilişkiel kuvvetleri (ivme, basınç vb.) temel analiz eksenini olarak ele alarak; araştırma açısından bu yön sapması, duraksama ve temas yoğunluğu gibi göstergelerin, kuvvet rejimlerini ifade eden temsili göstergeler ¹⁰ üzerinden okunmasına olanak sağlar.

Ayrıca eşiklerin tek değer üzerinden sınırlandırılmasının önüne geçilerek, eşik kuşağı ve geri besleme¹¹ aracılığıyla işletilmesinin gerektiği ortaya konur. Bu sayede deneyim sahadaki akışla sınırlı kalmayarak, veri kaydı ve hesaplamalı soyutlama katmanlarının devreye girdiği bir süreç olarak işler. Bu katmanlılık durumunu **Hayles'in [1999]** maddi–enformasyonel bileşim (material–informational entity) yaklaşımıyla incelemek mümkündür. Bu yaklaşım, beden, aygıt, kod ve pratik eklemeyi birlikte ele alarak, deneyimi salt içsel yaşantı ve salt ölçülebilir veri olarak ayrıştırmadan bir tanımlama yoluna gidilir.

¹⁰ Temsili gösterge (proxy), sahada doğrudan gözlemlenen izin uygulandığı; ölçülebilir ve karşılaştırılabilir bir değişkene çevrildiği ara gösterge seviyelerini ifade eder **[Groar ve Wang, 2013]**.

¹¹ Geri besleme, sistem çıktısının ölçülerek denetleyiciye geri iletilmesi ve bu bilgiyle girdinin güncellenmesiyle çalışan kapalı-çevrim işletim ilkesidir **[Åström ve Murray, 2008]**.

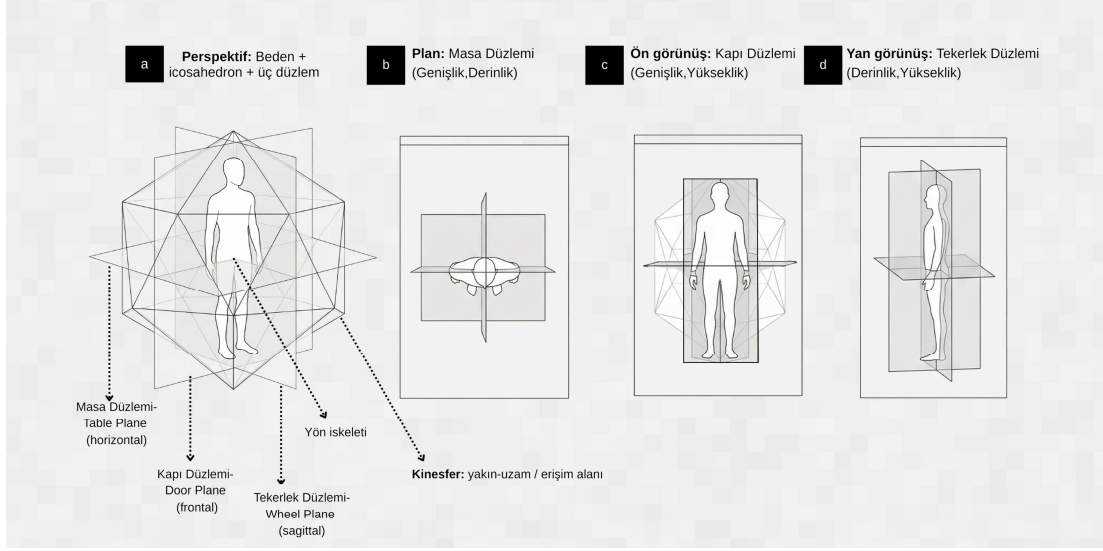
Deneyim, maddi taşıyıcılar (zemin, ışık, sensör, beden) ile enformasyonel örüntüler (kod, kayıt, hesap, temsil) arasındaki süreğin eklemlenme durumu içerisinde şekillenir. Bu sebeple gösterge kavramı, eşik oluşumunu görünür kılma potansiyelini ayırt edebilecek bir seçicilik ve yerinde ayara bağlanma koşulunu sağlayabilecek operatif bir mantıkla okunur. Bu doğrultuda önerilen göstergeler üç sınıfta ele alınır:

- Zamansal göstergeler: duraksama ve bekleme süreleri dağılımı, periyot varyansı, yoğunlaşma ve çözülme döngüleri
- Yönelim ve akış göstergeleri: yön sapması, yön kırılması yoğunluğu, karşılaşma ve çakışma olasılıkları
- Temas ve konfor göstergeleri: temas yoğunluğu, ısı odaklanma, sürtünme ve duyuşal eşikler

Burada amaç, seçimin gerekçesini görünür hale getirmektir. Temsili göstergelerin karar diline dönüştürülmesi açısından Laban'ın ele aldığı hareket geometrisi¹² (choreutics)'den yararlanılır. **Laban'ın [1966]** tanımladığı jestin yakın uzamı (kinesfer), düzlemler ve yön gerilimleri üzerinden kurulan yönelmiş bir müdahale seti halinde kavramsal bir sınıflandırma olarak devralınmaktadır. **Newlove ve Dalby [2004]** hareket geometrisi okumasında, bu müdahale setini üç temel düzlem üzerinden ele almaktadır. Kapı düzlemi (door plane), düzlem (wheel plane) ve Masa düzlemi (table plane) (**Şekil 2.8**).

Davies'in [2006] Laban okuması doğrultusunda bu düzlemleri, jestten doğan ve uzamsal çeşitliliği tanımlayan karşıt eylemler üzerinden ele alır. Masa düzleminde açılma ve kapanma, kapı düzleminde yükselme ve alçalma, tekerlek düzleminde ise ilerleme ve geri çekilme gibi karşıtlıklar üzerinden jestin biçimsel gerilimini uzamsal bir dil aracılığıyla sınıflandırmaktadır.

¹² Bu bölümde hareket geometrisi (Choreutics) yaklaşımı, yönelim göstergelerini karar diline çevirmeyi sağlayan kavramsal bir sınıflandırma zemini olarak kullanılmaktadır [**Laban, 1966; Newlove ve Dalby, 2004**].

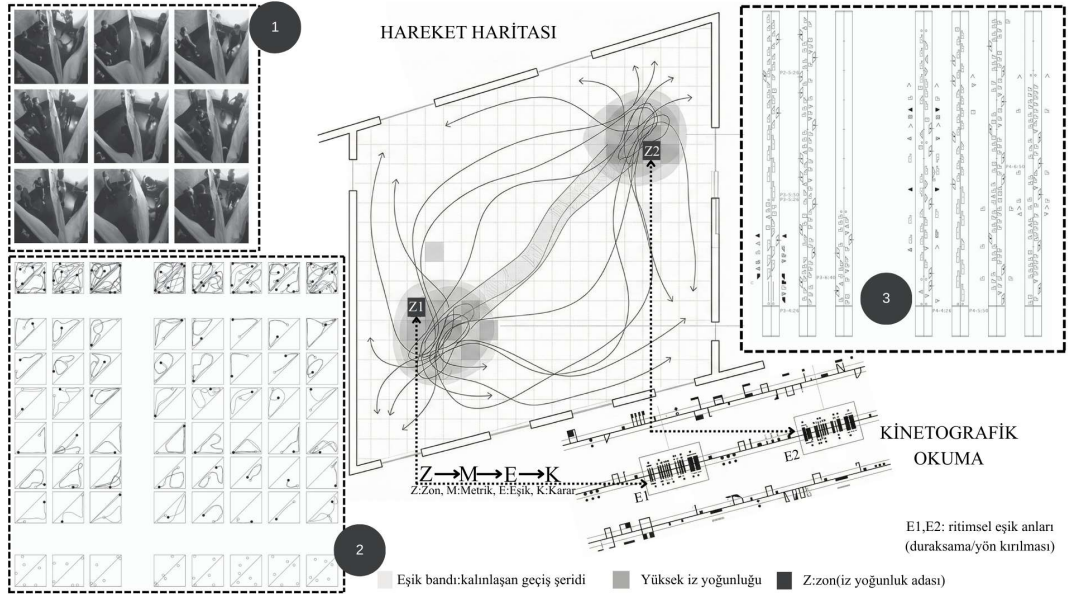


Şekil 2.8: Kinesfer ve üç temel düzlemin perspektif ve ortografik görünüşleri. [Newlove ve Dalby, 2003] referansından uyarlanmıştır.

Araştırma açısından bu çerçeve, yönelim verisini salt ve nicel bir sapma aralığı olmaktan çıkararak, bu sapma durumunun gerçekleştiği uzamsal düzlem niteliği ve yönelimsel karşıtlıklar aracılığıyla çok katmanlı bir analiz zemin olarak okunmasını sağlar. Mimari eşiklerin yerinde ayar durumu üzerinden ise olay serileri yön kırılmalarını rasyonel bir anlam indirgerken, anizotropi doğrultusu gibi tasarımsal karar ailelerinin kuramsal temeli atılır. Bu ekseninde Laban yaklaşımı, teknik bilgi taşıyan metriklerin uzantısından ziyade kırılma yoğunluğu ve akış vektörü gibi göstergelerin, karar parametrelerine çevrilebilir bir sınıflandırma sistemi olarak işlev görür.

Bu sınıflandırma yaklaşımı bir sonraki adımda, göstergelerin kavramsal seviyede kalmayıp, haritalanabilir bir temsil rejimine dönüştüğü çalışmalar üzerinden okunabilmektedir. Martínez Sánchez'in skor üretimi ve dinamik kartografi üzerinden ele aldığı çalışması, bedensel jestleri kartografiler üzerinden değerlendiren bir yaklaşım sunar [Martínez Sánchez, 2021]. Kinetografi deneylerinde (Kinetography I–III), beden tekil hareketlerini odaklanılarak, sahnede oluşan çoklu beden senaryoları ve kentsel mekân bağlamında öngörülemez yaya akışları; çizgisel bir notasyon, izlek ve yoğunluk haritaları üzerinden deşifre edilmektedir. Bu sayede mikro jestler olay ölçeğinde sıkışmadan, farklı ölçekler üzerinden izlenebilen örüntüler olarak gözlemlenebilmektedir. Dinamik kartografi ve kinetografi deneyleri,

mikro jestlerin plan düzleminde izlek ve yoğunluk haritaları aracılığıyla temsil edilerek ölççekler arası izlenebilir kılınmasına örnek teşkil etmektedir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9: Dynamic Cartography III (2014) deneyinin üretken piksel bağlamında hibrit okuması. [Martínez Sánchez, 2021]'den uyarlanmıştır.

Sonuç olarak performatif jest, sahada olanı tanımlamanın ötesine geçerek, yinelenen olay örgüleri ekseninde eşik kuşağı üreten ve yerinde ayar gereksinimi ifade eden bir sistem olarak okunur. Bu sebeple çalışma, olayı tekil bir ölçümlemeden çok, izleri temsili göstergeler aracılığıyla filtreleyerek belirginleştirir. Yönelim ve akış ekseninde, Laban'ın uzamsal hareket geometrisi sınıflandırmasından yararlanılarak, sapma durumu zıtlıklar ve düzlemler üzerinden okunur hale getirilir. Böylece anizotropi ve yönlü doku gibi karar gerekçeleri kurulmuş olur.

2.3.2. Jestin Algısal Mimarisi: Yerleşim Noktalarıyla Eşik Üretimi

Eşik oluşumu, bedeninin çevreden aldığı veriler doğrultusunda algıyla birlikte yerleşerek hareket kararını yeniden yapılandırmasıyla başlamaktadır. Gündelik akış içerisindeki birçok odak; işitsel, görsel, termal ve bedensel denge durumu gibi göstergelerin sık aralıklarla biriktiği mikro anlar üretir. Böyle anlarda beden, geçme, durma ve yön değiştirme gibi akıştan ayıran olayları yeniden ayarlamakta ve bu sayede eşik, algısal olarak okunabilir bir hale gelir. Arakawa ve Gins'in [2002] yerleşim noktaları (landing sites) yaklaşımı, bu tür yoğunlaşma anlarının yüzey üzerinde meydana getirdiği mikro odakların toplandığı alanları tanımlar. Yerleşim durumu

burada, algısal ankraj (anchoring), hizalanma ve yeniden ayarlama anını tanımlamaktadır. Bu yeniden ayar durumu, mikro mesafe mertebesinde bedensel konfor ve kişisel mesafe eşiği göstergeleriyle başlar. Daha sonra mezo akış mertebesi boyunca dereceli bir eşik üretim durumuna evrilir. Son olarak da makro zaman mertebesinde ise bandın kalınlığı, yönlendirme, bakım ve güvenlik rejimleriyle belirlenir. Yerleşim noktalarının çoklu duyuşal göstergeleri, kısa aralık zarfında eş zamanlı olarak kümелendiğı olay durumu olarak el alındığında, eşik üretimini tetikleyen bir mekanizma olarak okunabilmektedir. Bu göstergeler beş sınıfta ele alınır: Görsel göstergeler (görme temelli), İşitsel göstergeler (işitme temelli), Termal göstergeler (dokunma ve ısı temelli), Kinestetik geri bildirim ¹³(iç duyum temelli) ve Vestibüler göstergeler (denge ve ivme temelli). Bu beş duyuşal sınıf ve her birinin yerleşim anındaki göstergelerle oluşturabileceğı tasarımsal karşılıkları **Tablo 2.6'**da ele alınmıştır. Bu sınıflandırma çok duyulu ve bedenlenmiş algı literatürüne dayanmakta, ayrıca tez kapsamında yerleşim noktaların operatif olarak okunabilmesi amacıyla yeniden düzenlenmiştir [**Pallasmaa, 2005; Merleau-Ponty, 2012; Gibson, 1979; Arakawa ve Gins, 2002**].

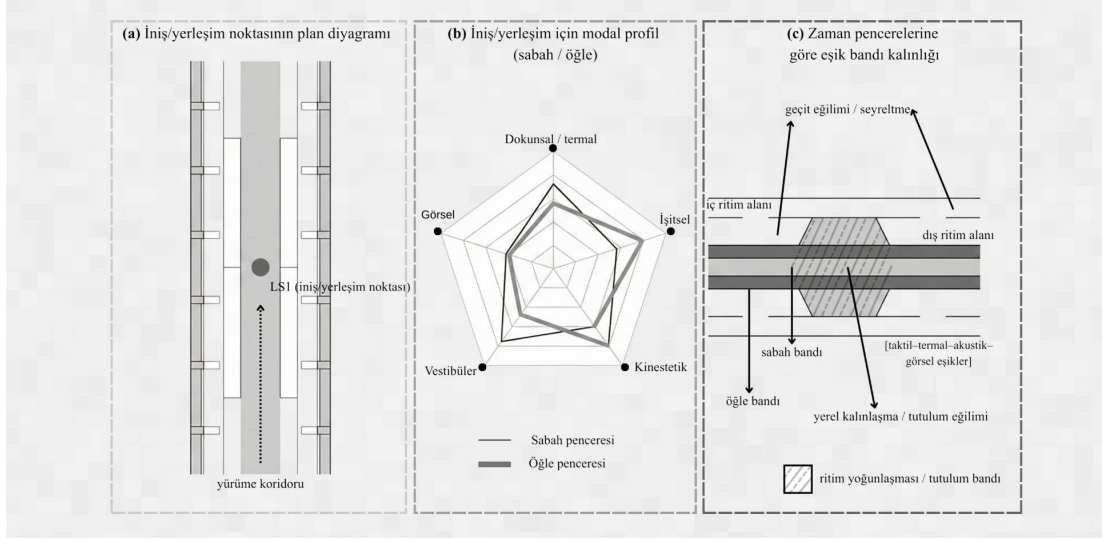
Bu yaklaşım doğrultusunda, eşiklerin, çeşitli duyuşal göstergelerin sık periyotlarla birlikte birikerek, jest kararını yeniden ayarlayabildiğı mikro odak ölçeğinde okunabilmektedir. Araştırma bu mikro odakları, fenomenolojik anlamdan kurtararak, Ponty'nin bedensel yönelim odağı ve Gibson'ın eylem olanakları yaklaşımından yararlanarak operatif bir okuma sistemi kurar [**Merleau-Ponty, 2012; Gibson, 1979**]. Geçme, durma ve yön değıştirme gibi sapmayı tetikleyen mikro kararlar üzerinden bu sistem işletilir. Yerleşim noktası yaklaşımı, göstergelerin yığıldığı yarı kararlı (tekrar yoluyla belli bir süreklilik kazanabilen) bir eşik kuşağına dönüşebilen bir odak noktası olarak konumlanır. Kısacası buradaki amaç, odak noktalarını tetikleyen duyuşal göstergeler aracılığıyla izden eşik bandına kadar ilerleyen hattın çalışmasını optimize etmektir.

¹³ Kinestetik geri bildirim, bedenin hareket ve konum bilgisini içsel duyular vasıtasıyla gözlemlemesini ifade etmektedir. Bedensel yönelim ve hareketin algısal olarak temellenmesi açısından Merleau-Ponty'nin beden şeması ve yönelim tartışmasıyla birlikte okunmaktadır [**Merleau-Ponty, 2012**].

Tablo 2.6: Duyusal modaliteler, yerleşim göstergeleri ve tasarımsal karşılıkları.

Modalite	Algısal ipuçları (örnek)	Ölçülebilir parametreler	İniş Alanları(Landing site) üzerindeki rolü	Olası tasarımsal ayar
Görsel	Görüş konisi açısı, kontrastlı kenarlar, yön işaretleri, ıstık konisi	Aydınlık (lux), kontrast oranı, görüş alanı açısı, işaret görünürlük mesafesi	Yönelim kuras, eşik çizgisinin “nerede olduğuna” dair hızlı ipucu verir	Istık seviyesi ve yönü, kontrastlı zemin bantları, okunaklı yönlendirme grafikleri
İşitsel	Yankı süresi, fon gürültüsü, anons/uyarı sesleri, kapı açılma-kapanma tıması	dB seviyesi, RT60 yankı süresi, sinyal/gürültü oranı	Bekleme-geçiş ayrımını netleştirir; “dur-dinle” veya “geç-devam et” komutlarını destekler	Akustik sönümleyici yüzeyler, hedefli anons noktaları, gürültü bariyerleri
Dokunsal / termal	Zemin pütürü, basamak kenarı hissi, sıcak/serin yüzey cepleri	Zemin sürtünme katsayısı, yüzey sıcaklığı, temas süresi	Adım ritmini ve kalma niyetini ayarlar; güvenlik/eşik hissini beden üzerinden üretir	Hissedilebilir yüzey bantları, farklı pütür dokuları, gölgeleme veya ısıtma panelleri
Kinestetik / propriyoseptif	Adım uzunluğu değişimi, ağırlık aktarımı, bedenin yön değiştirme hissi	Adım frekansı, hız-ivme ölçümleri, dönüş açısı	Kırılma hatlarını ve mikro duraksama noktalarını belirginleştirir	Rampa eğimi, basamak ritmi, genişlik-darlık geçişleri, hız kesici yüzeyler
Vestibüler	Eğimli zemin, ani hızlanma-yavaşlama, düşey hareket (asansör, merdiven)	Eğim açısı, hız değişim oranı, düşey ivme	Aşırı uyarı uyarır; denge ve güvenlik eşliğini tetikler	Eğim sınırlarının kontrolü, korkuluk yerleşimi, düşey boşluklarda görsel/işitsel güvenlik işaretleri

Bu operatif çerçeve, Pallasmaa'nın çok duyulu okumasından temellenerek, bu okumanın tasarım kararlarına dönüşme durumunda bir kontrol ölçütü olabileceğini gösterir. Bu sayede göstergeleri arttırmadan eşik okunaklılığını yerle ve zamansal ağırlıklandırmayla ele almak mümkün olur [Pallasmaa, 2005]. Nitekim aynı odakta zaman penceresine bağlı olarak farklı modal baskınlıklarını gözlemlemek mümkündür. Bu da eşik kuşağının kalınlaşma, incelme ve yer değiştirme potansiyellerinin tespitini kolaylaştırır. Örnek senaryo olarak, aynı yerleşim odağının gün içinde farklı iç ritimlerle birlikte kurduğu duyusal kanallar ele alınabilir. Turnike önünde sabah düşük yoğunluktaki işitsel uyarılar, dur ve geç ayrımını kuvvetlendirirken; öğle saatlerindeki kalabalıklıkla birlikte bu işitsel kanal maskelenebilir. Bu noktada görsel göstergeler ve termal göstergeler kararın daha önemli bir tetikleyicisi halini alır. Kayma durumu, eşik bandının sadece kalınlaşıp incelmesiyle değil, modal ağırlıkların dönüşümüyle birlikte yer değiştirmesiyle açıklanabilir. Bu kayma, eşik kuşağının makro zaman katmanında modal ağırlıklarının değişimiyle birlikte farklı kiplerde işleyiş zemini bulduğunu da göstermektedir. Gün içinde meydana gelen ağırlık dönüşümleri ve eşik bandının yer değiştirmesi, makro zaman mertebesinde modal hiyerarşisinin yeniden dağılım dinamiklerini somutlaştırır. Bu dinamikler Şekil 2.10'da şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.10: Yerleşim noktasının modal profili ve zaman penceresine göre değişimi.

2.4. Post-Beden, Dijitalleşme ve Pikselleşme Bağlamında Mekânsal Üretim

Dijital yaklaşımı, mekâna eklenen bir temsil katmanından ziyade ölçüm protokollerinin, arayüz işletiminin ve bedensel pratiklerin bir arada çalıştığı bir üretim koşulu olarak ele alınabilmektedir. Buradaki ana argüman, mekânın oluşumunun sadece fiziksel karşılaşmalardan yararlanılarak okunamayacağıdır. Bu noktada artık piksel, gösterge anlamından çok, izlerin yerel olarak örneklenip işlendiği ve bu şekilde kararın aktara bilindiği en küçük arayüz hücresi olarak konumlanır.

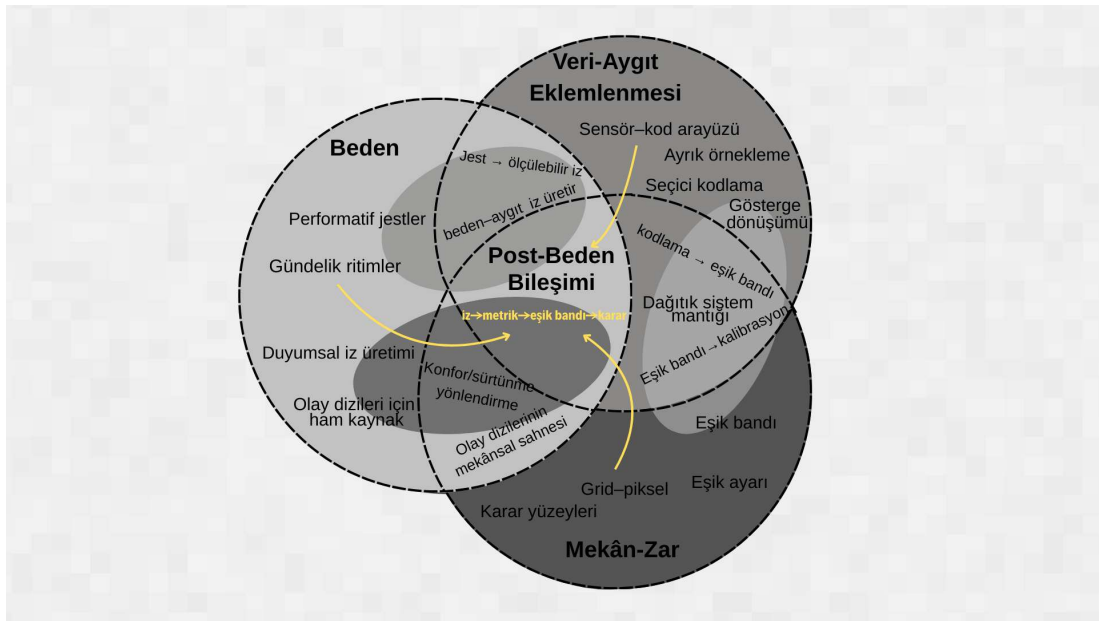
Seçici kodlama ¹⁴ (encoding) ise bu hücrelerde, gözlemlenmesi gereken noktaların ve önceliklendirme seviyesinin belirlendiği bir tercih rejimi olarak çalışılır. İzlerin sabit tekil bir değere bağlanmadan, zaman pencereleri ve eşik kuşağı üzerinden ayarlanması ve karar üretim koşullarına uyularak zar mantığı çerçevesinde çalışan bir kalibrasyon problemine dönüşmesi üzerinden ilerler.

Post-beden ve post-hümanist teorik zemin, enformasyonu bedenden ayrı düşünülmemeyen, her daim protokoller, aygıtlar ve pratikler aracılığıyla somutlaşan bir akış olarak tanımlamaktadır [Hayles, 1999]. Bu bakış açısı enformasyonun taşıyıcılar

¹⁴ Bu çalışmada kodlama (encoding), işlenmemiş izleri (x)'i karar üretimine elverişli bir sayısal gösterime dönüştüren eşleme adımı olarak kullanılmaktadır [Goodfellow vd., 2016].

ve pratikler üzerinden somutlaşabildiğini göstererek, iz üretiminin (bedensel jestlerin duyumsal göstergeleri) ancak bazı protokoller vasıtasıyla ölçülebilir versiyona getirilebileceğini göstermektedir. Bu kabul, izlerin grid üzerinde yerel olarak konumlanan örnekleme hücreleri üzerine yayılım sağlanarak, karar üretim birimine dönüşmesinin ihtiyaç durumunu somutlaştırır. Bu şekilde yerel birim olan ve operatif arayüz üzerinden tanımlanacak olan üretken pikselin kavramsal temelli konumlandırılmış olur.

Bu doğrultuda **Barad'ın [2003]** intra-aksiyon (intra-action) yaklaşımında bedeni, aygıt ve veri bileşenlerinin ayrık yaklaşımdan uzaklaştığı, karşılaşmalar içinde kurulan ilişkiyel odak noktaları olarak ele alır. Bu sebeple ölçüm edimi Barad'ın tanımıyla sınırları fiilen kuran performatif bir kesittir. İntra-aksiyon yaklaşımı ise araştırmanın yöntem kısmında yararlanılan ölçüm mantığını destekleyerek, bu yolla izlerin özel koşullar altında karar üretebilecek şekilde sınıflandırılabilceğini kanıtlamaktadır. Teorik düzlem, bölümün odağı olan operasyonel bir eksene taşınarak, süregelen duyumsal akışın, karar üretimine uygun ayrık örnekler halinde ele alındığı noktayı vurgulamaktadır (**Şekil 2.11**).



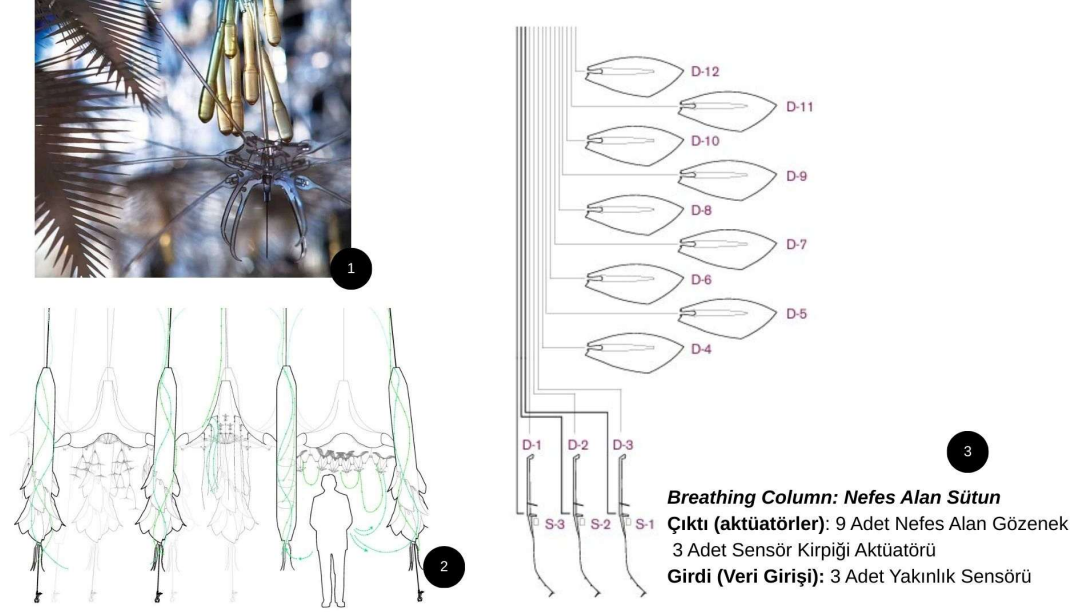
Şekil 2.11: Post-beden bileşenlerinin operasyonel hat boyunca maddi ve enformasyonel birlikte çalışması.

Ayrıca bu kuramsal zemin, izden metriğe, metriktten eşığe ve eşik bandından karara uzanan tasarım hattını somutlaştırarak görünür kılar. Bu çerçeve, izlerin seçici

kodlama ile sayısal göstergelere (metriklere) çevrilerek, göstergelerin bağlama duyarlı olarak eşik bandını sınıyabileceğini yani kalibrasyon mantığının gerçekleşebileceğini göstermektedir. Bu sayede en son adımda geri besleme üreten karar ailelerine bağlanılabileceği okunabilmektedir. Dolayısıyla post-beden yaklaşımı, bedenin iz üretimi ve karar yüzeyi belirlenmesi arasında kurucu bir arayüz olarak konumlandığını göstermektedir.

Bu zincirden çıkarılan anlam şudur: arayüz, operasyonel bir eşik düzeni olarak bedensel ve duyusal koşullara bağlı olarak tanımlanabilmektedir. Bu kanalla operatif okuma, arayüz konumunu yeniden tanımlamış olur. **Hansen'ın [2006]** arayüz tanımı, izlerin saptanması ve sınıflandırılmasıyla eşik bandında karar üreten bir işletim koşulu oluşturması üzerinden okunabilmektedir. Piksel burada, izden karar durumuna kadar olan işletim izleğinin aktive olduğu ayrık hücre düzleminde kararın operasyonel karar karakterini taşır. Bu doğrultuda bölüm 2.3'te ele alınan olay dizileri, gözlemlenebilir bir rejim kurulduğunda okunabilir duruma gelir.

Bu mantık, duyarlı yüzey literatüründe “dağıtık zekâ” örnekleriyle de okunabilmektedir. **Beesley'nin [2010]** Hylozoic Ground projesinde ele alınan uzamsal örgü yapı, tezin önerdiği operatif yüzey mantığının somut bir teknik karşılığını sunmaktadır. Projenin mühendislik kurgusunda yer alan **Gorbet [2010]**, sistemi merkezi bir bilgisayarla yönetilen hiyerarşik bir kurgudan ziyade dağıtık zekâ (distributed intelligence) yaklaşımıyla çalışan otonom birimlerin üzerinden tanımlar. Bu yaklaşım, örnek okuma üzerinden somutlaştırılmaktadır (**Şekil 2.12**). Fiziksel düğüm seviyesinde; sensör, mikro denetleyici ve aktüatör bileşenlerinden oluşan otonom karar birimleri ele alınır; bu karar birimleri, uzamsal örgü eksenindeki düğümler, komşuluk etkileşimleri doğrultusunda birleşerek kafes yapısı ve mekânsal örgütlenmeyi üretir. Komşuluk iletişimi (neighborhood behavior) olarak adlandırılan aşamada, tetiklenen sensör, veri yoluyla komşu birimlere sinyal dağıtır ve bu şekilde hareketin tek bir noktada birikmesi engellenir. Döngü; duyusal verilerin toplandığı sensör(iz), filtreleme işlevi gören işlemci (eşik) katmanlarından geçerek mekânsal tepkiyi üreten aktüatör (karar) mekanizmasına dönüşerek işleyişi tamamlar.



Şekil 2.12: Hylozoic Ground projesinde dağıtık zekâ temelli operatif yüzeyin çok ölçekli analizi. [Beesley, 2010] ve [Gorbet, 2010]'dan uyarlanmıştır.

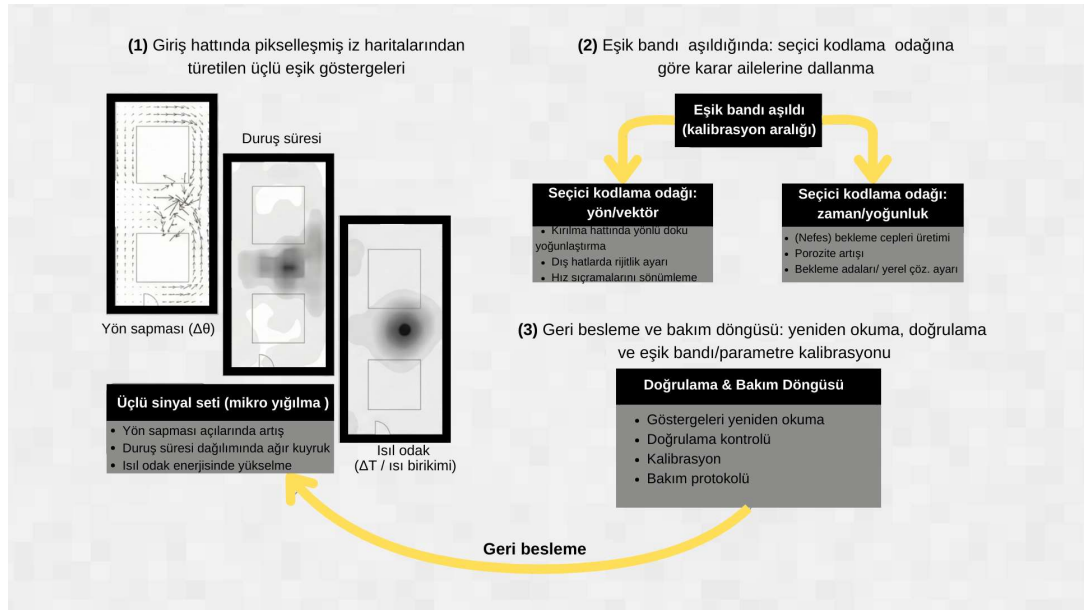
Bu örnek okuması, tezde ele alınan üretken piksel yaklaşımının sadece veri toplayan bir hücreden çok, yerel eşikler üzerinden uyarılan ve yayılım üretebilen bir işletim biri olarak düşünülmesine zemin hazırlar. Böylece grid burada, davranışın taşındığı ve ölçeklendiği bir topoloji okuması olarak görünür hale gelir.

Bu doğrultuda pikselleşme, karar bakımından önemli olan ayrımların okunaklı bir hale getirilerek, ayırt edici bir işletim olarak işlevlendirilmesidir. Bütünsel süreklilik arakesitinde, ayırık örneklendirme yapmak karar üretimini sağlarken, bir yandan da indirgeme riskini taşımaktadır. Bu nedenle seçim durumu burada rastlantısal değil, politik temellidir [Massumi, 2002; Dolphijn ve van der Tuin, 2012; DeLanda, 2016]. Bu politik eksen, aynı olay durumlarının farklı seçici kodlama protokolleri üzerinden farklı karar ailelerine bağlanabilmesiyle belirginleşebilir. Örneğin; yön ve vektör odaklı okumalar, rijitlik ve yönlü doku gibi kararları önceliklendirirken, zaman ve yoğunluk okumalarında ise bekleme cepleri ve porozite gibi konfor kararları öne çıkabilmektedir. Böylece tez pikselleşme kavramını, her veriye odaklanarak onu ölçen durumdan ziyade; izlerin okunur olacağı aralıkları, zaman pencerelerinin o andaki yoğunluğu ve baskın göstergelerin ölçümlenmesi üzerinden karar uzamının oluşumunu okumaktadır. Bu sebeple pikselleşme aracılığıyla, izlerin yoğunlaşabileceği eşik kuşakları ve bu durumun gerçekleştiği eşik aralıkları okunur

hale getirilebilmektedir. Ayrıca seçici kodlama seçimiyle izlerin bağlanabilecekleri karar aileleri de hem yöntemsel hem de etik bir ayar rejimi olarak düşünülebilmektedir.

Etik sınaama sadece performans metrikleriyle sınırlandırılmayarak, bölüm 2.3'te ele alınan konfor, güvenlik ve özneleşme faktörlerinin çalıştığı sayısal katmanda da geçerlidir. Bu sayede pikselleşmiş arayüzün bakım etiği belirlenir. Erişebilirlik durumu ise burada, eşik dilinin kurucu unsuru halini almaktadır. Çevreden alınan görsel bilgi azaldığında (sis, kalabalık, gölge gibi düşük görüş koşulları), aktör mekânı okumak için gözden çok beden aracılığıyla algılanan göstergelere yaslanır. Bu yüzden taktil(dokunsal) göstergelerin artması, bu durumda karar mantığının kendisi halini alır. Bu yüzden tasarımsal olarak hangi göstergenin önceliklendirme kararında, dokunsal ipuçlarının (taktil) payını artırmak gerekir [Pallasmaa, 2005; Hayles, 1999]. Çok modlu yaklaşım ve hissedilebilir zeminler (doku farklılıkları, baston ya da ayakla okunabilen yüzeyler) birlikte düşünülmelidir.

Bu sistematik kurgu, sahadaki karar işleyişini örnek bir senaryo yardımıyla görünür kılar: Tekrarlı mikro yığılmaların gerçekleştiği bir giriş alanında, yön sapmalarındaki artış, duruş süresinin uzaması ve yerel ısı odakların belirginleşmesiyle pikselleşmiş iz haritaları eşzamanlı olarak üretilebilmektedir. Burada seçici kodlama yaklaşımının odağına bağlı olarak farklı karar aileleri operasyonel hale gelebilmektedir. Müdahale sonrası göstergelerin tekrar gözden geçirilmesi ve gereklilik durumunda bant ile parametrenin güncellenmesi, tasarımın döngüsel bir işleyiş biçiminde çalıştığını göstermektedir. Bu işleyiş mantığı **Şekil 2.13**'te ele alınmıştır.



Şekil 2.13: Mikro yığılmaların eşik bandı üzerinde okunması ve seçici kodlama mantığında karar ailelerine dağılım şeması.

Bölüm 2.3'te ele alınan olay ve yerleşim noktalarının sayısal sitemde okunabilir duruma gelmesi için gerekli koşullar bu noktada netleştirilir: İz olarak jest, seçici kodlama ve eşik bandı kalibrasyonu ile tanımlandığı durumlarda izlenebilir bir karar rejimi halini alır. Müdahale sonrası göstergeler tekrar okunarak, eşik bandı ve parametreler geri besleme mantığıyla güncellenmektedir.

Netice itibarıyla bölüm boyunca ele alınan dijital süreçler, mekân üretiminin devinim durumunu kavramsal çerçevede destekler. Bu dijital katman, **Lefebvre'nin [1991]** ele aldığı yaşanan, tasarlanan ve algılanan mekân eksenleri üzerinden okunduğunda; bu üçlü yaklaşımı yeniden yapılandıran bir protokol dizisi okuması ortaya çıkar. Algılanan eksen sensörle takip edilebilen izlere, tasarlanan eksen ise eşik politikaları ve akış kodlarına bağlanır. Yaşanan düzlem, olay ve yerleşim dizilerine eklemlenir. Bu çerçevede bu bölüm, dijital katmanı mekânı ölçüm, kodlama ve kalibrasyon ilişkileriyle çalışan bir üretim koşulu olarak tanımlar ve sonraki bölümlerde ele alınacak olan grid topolojisinin ve yerel karar biriminin (üretken piksel) protokol olarak kurulmasına geçiş için kavramsal zemini kurmaktadır.

3. OPERATİF KARAR YÜZEYİ: GEOMETRİK ALTYAPI VE ÜRETKEN PİKSEL REJİMİ

Bu bölümde, önceki bölümler üzerinden kuramsal temeli atılan beden, ritim ve iz hattı üzerinden karar yüzeyinin kurulma sürecine dair soruya taşımaktadır. Grid, bir temsil düzeni olmaktan çıkarılarak, verinin işlenebildiği ve dağıtık biçimde üretilebildiği operatif bir rejim halini almaktadır.

3.1. Grid: Geometri, Ölçüm ve Karar Altyapısı

Burada gridin üç katman üzerinden ele alınıp, incelenmesi hedeflenmektedir:

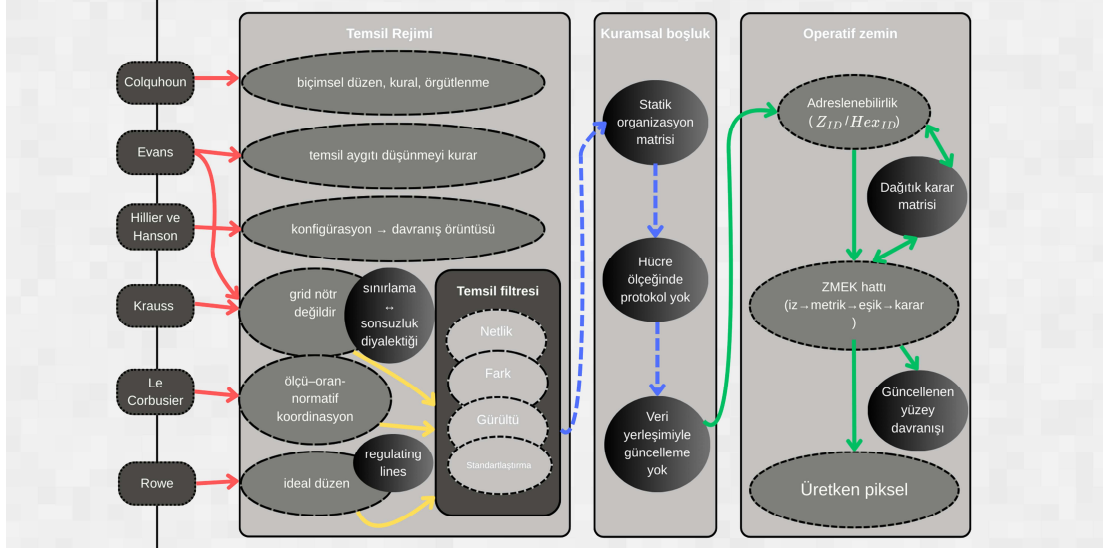
- Tarihsel ve temsili katman (gridin mimarlık ve sanat tarihindeki düzen rolü),
- Operatif katman (adreslenebilir karar zemini)
- İşletim politikaları (ayırıklaştırma, komşuluk topolojisi, üretim, ölçüm döngüsü).

3.1.1. Geleneksel Öklidyen Grid: Temsili Düzendeki Hesaplamalı Alana

Mimarlık tarihi alanında grid, antik kent planlamalarından serbest plan arayışlarına kadar, mekânı temellendirmede önemli bir araç olarak ele alınmıştır. **Colquhoun [1981]**, modern mimarlık yaklaşımında biçimsel düzen anlayışının, salt bir estetik seçimden ziyade tasarım kuralları ve parça bütün ilişkisi bağlamında biçimlerin tarihsel olarak meşrulaştırıldığı bir örgütlenme mantığı olarak ele alır. **Evans [1997]** ise mimarlık disiplininde temsil araçlarının hem ifade edici hem de düşünmeyi yapıcı şekilde kurgulayan aygıtlar olarak ele alır. **Hillier ve Hanson'nın [1984]** konfigürasyon yaklaşımı bu noktada, kullanıcıların hareketleri, görünürlük ve erişilebilirlik üzerinden örneklendirilen davranışsal örüntülerinden yararlanarak sistematik bir şekilde mekân düzeninin oluşumunu tetiklendiğini ileri sürer.

Bu üç hat birlikte düşünüldüğünde grid, tarafsız bir çizim zemini olmaktan çok, tasarımın ne tür parça ve ilişkiler üzerinden oluşum göstereceğini çerçeveleyen bir kural ve örgütlenme rejimi olarak okunabilmektedir. Fakat bu kuramsal yaklaşım gridin işlevini çoğu kez zemin hazırlamasına rağmen, gridin veri türü ve yerleşimi

bağlamında müdahale imkanlarına dair tanımları, hücre ölçeğinde operasyonel bir protokol olarak işleyememektedir. Yapılan tez çalışmasında söz konusu bu kuramsal boşluğu, temsil katmanını operatif bir temellendirmeye dayandırarak ve ZMEK yöntemsel hat üzerinden hücre ölçeğinde biçimlendirebilecek bir karar çerçevesi oluşturarak tanımlamayı amaçlar ¹⁵ (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Öklidyen gridin temsil rejiminden operatif karar zeminine geçişi.

Bu bağlam üzerinden düşünüldüğünde geleneksel Öklidyen grid, çizimin tek başına performatif bir ızgara aracı olarak tanımlanamayacağını, aynı zamanda mekânın kurgusunu, bölümlenme şekillerini ve ölçeksel hiyerarşisini yapılandıran bir koordinat mantığı olarak yeniden konumlandırılır.

Aynı zamanda Krauss'un modern sanat üzerinden grid okuması da bu yaklaşımı destekler. **Krauss [1979]**, gridin mekânı hem sınırlayan hem de sonsuzluğa genişleten diyalektik durumunu vurgular. Gridin nötr olamayacağını savunarak, görme ve düzenleme etrafında şekillenen bir paradigma olduğunu ileri sürer. Mimarlık perspektifinde bu diyalektik yaklaşımca grid, bir yandan temsil alanını kontrol edilebilir ve ölçülebilir olarak tanımlarken, diğer yandan mekânı rasyonel bir ölçü dahilinde parçalara ayırarak homojen birimlere böler ve yapısal çeşitliği standart hale getirme yönünde çalışır.

¹⁵ Araştırma boyunca grid, temsil durumundan ziyade izlerin adreslendiği ve ZMEK hattının hücre ölçeğinde işletilebildiği dağıtık bir karar matrisi olarak tanımlanır.

Bu sabit temsil rejiminin mimarlık okumasındaki en belirgin karşılıklarından biri, ölçü oran ve normatif koordinasyon ilkeleri aracılığıyla **Le Corbusier'in [2007]** kuramsallaşma girişimidir. Le Corbusier Toward an Architecture kitabında biçimsel tutarlılığı, tasarım kararları üzerinden ölçülebilir ilişkiler ve oransal uyuma odaklanarak analitik bir düzlemde çözümlemeyi amaçlar. Bu kurgu içinde düzenleyici çizgiler (regulating lines) kavramı, kompozisyonu oluşturan her parçanın örgütlenişini rastlantısal bir dizilimden ziyade geometrik sınır çizgileri aracılığıyla bağlanan bir ilişkiler ağı olarak tanımlanır. Elemanlar, bu sınır çizgilerinin oluşturduğu orantısal şemaya göre hizalanır ve bu sayede ölçü ve oran üzerinden bütün ile parça uyumu denetlenebilir bir rejim haline gelir. Dolayısıyla grid ve oran mantığı, yardımcı bir şemadan çok, ilişkilerin doğru veya tutarlı sayılma şartlarını önceden tanımlayan normatif bir koordinasyon protokolü gibi çalışmaktadır.

Bu noktada Rowe'un modern mimarlık okumasında ideal düzen ¹⁶ yaklaşımı, biçimsel kurgunun rasyonel bir paradigma aracılığıyla çözümlenmesi şeklinde ele alınır. Tez açısından kritik olan, Rowe'un işaret ettiği ideal düzenin, kullanım sonucu oluşan zamansal yoğunlaşmaları ve yerel sapmaları tecrit edici bir yaklaşımla ele almasıdır **[Rowe, 1976]**. Bundan dolayı öklidyen gridin sunduğu netlik, farkların anlam ile gürültü(hata) arasındaki ayrımını netleştiren bir temsil filtresi olarak okunabilmektedir. Buradaki asıl kırılma noktası, gridin temsili nitelikleri yerine operasyonel işleyişinin tartışma zeminine taşınmasıdır. Dolayısıyla Öklidyen grid, ölçü ve oran üzerinden şekillenen, belirlenmiş parametrelerin eşgüdümünde kartezyen bir denetim aracı olarak düşünülebilmektedir.

Bu sebeple bir sonraki alt başlık, gridi temsil katmanından çıkararak, hücre ölçeğinde ölçüm, işleme ve güncelleme ilişkilerini kuran operatif bir karar zemini olarak ele alacaktır.

¹⁶ İdeal düzen (ideal order), kültürel üretimlerin yerleşik bir düzen içinde yeniden konumlanması fikrinden türeyen bir eleştiri tanımı olarak okunabilmektedir **[Eliot, 1920]**. Rowe'nun modern mimarlık okumasında ise bu yaklaşım, örgütlenmenin rasyonel ve ölçülebilir bir zemin aracılığıyla kodlanmasıyla kurulan, idealize edilmiş formel disiplin üzerinden mimari temsil rejimlerine eklemlenerek kavramsal bir süreklilik oluşturmaları olarak okunabilmektedir **[Rowe, 1976]**.

3.1.2. Gridin Operatif Statüsü: Temsil Şemasından Adreslenebilir Karar Zemini'ne

Operatif katmanın omurgası adreslenebilirlik¹⁷ durumudur. Tezde grid, ölçüm, işletme ve müdahale durumlarını barındıran döngünün sürekliliğinin, kendi sınırları içerisinde tanımlanmasını sağlayan bir sistem temeli üzerinde kurgulamaktadır. Her hücrenin Z_{ID} , Hex_{ID} olarak tanımlanması, izlerin ölçüm üzerinden belirli bir konuma sabitlenmesini mümkün kılar.

Allen [1999] alan koşulları (field conditions) yaklaşımıyla, formu tek bir bütünlüğe indirgemek yerine; parçalar arası kurulan yerel ilişkiler üzerinden çalışan bir mekânsal mantık olarak ele alır. Tezde benzer yaklaşım gridin, adreslenebilir bir matris olarak ele alınmasıyla karar üretiminin sağlanması olarak karşılık bulmaktadır. Bu sayede gridin işlevi, bir ideal düzeni temsil ve iddia etmekten çok, yerel durumların birlikte çalıştığı bir sistem kurgusuna evrilir. Böylece grid, düzenin üretilip, sürdürülebildiği bir çerçeve olarak okunabilmektedir.

Newman [2010] ise kurmuş olduğu ağ ve topoloji çerçevesinde yüzeyin geometrik potansiyelleri dışında barındırdığı hücresel olasılıklara odaklanır. Her hücrenin bir düğüm noktası (node) olarak tanımlanabileceğini savunur. Ayrıca hücreler arası ilişkiyi tanımlamak için kullandığı kenar (edge) kavramı aracılığıyla, bu ilişkisel ağın okunabilmesini mümkün kılar. Komşuluk¹⁸ ilişkilerine odaklanılarak, tutarlılık ve tekrar koşulları teyit edilebilmekte ve böylece daha kararlı bir rejim tesis edilir.

Tezde bu okuma iki şekilde operatif düzlemde ele alınır. Yanlış tetikleme¹⁹ ve yerel gürültülerin karar yüzeyini kaydırmasının önüne geçilmesi amaçlanır. Bu bakış açısı doğrultusunda Newman'ın ele aldığı ağ yaklaşımı, tezde ele alınan dağıtık karar mantığının komşuluk ve topoloji üzerinden protokolleştirmesine ve bir ilke olarak meşruiyet kazanmasına zemin hazırlamaktadır.

¹⁷ Adreslenebilirlik, gridin her hücresinin tekil bir kimlikle (Z_{ID} , Hex_{ID}) tanımlanması ve ölçüm, eşikleme, karar ve müdahale işlemlerinin aynı kimlik altında değerlendirilme süreçlerinin tanımlanmasıdır.

¹⁸ Komşuluk, grid hücrelerinin bir düğüm olarak ele alınması ve hücreler arası ilişkilerin kenarlar üzerinden tanımlanmasıyla kurulan topolojik yakınlık şemasını ifade etmektedir [**Newman, 2010**].

¹⁹ Tetikleme (triggering); tezde ham izlerin (basınç, ısı, hareket) doğrudan karar olarak belirlenmesi yerine, bu izlerin metrikler aracılığıyla tanımlı eşik koşullarını sağlamasıyla sistemin bir olay durumuna evrilmesi ve ilişkili karar ailelerini (K1–K4) etkinleştirmesi olarak ele alınır [**Oppenheim ve Schafer, 2010; Åström ve Murray, 2008; Huber ve Ronchetti, 2009**].

Mekânsal ve topolojik çerçeve, kararın üretildiği adresle birlikte, üretim sıklığı ve geri besleme koşullarının belirlenmesinin tartışmaya açıldığında, literatürde ele alınan üretken ve evrimsel tasarım hattı yaklaşımlarıyla ele alınmasını gerekli kılar. Bu noktada **Frazer'in [1995]** ele aldığı kurallar, parametrelerin ilişkisel değişim potansiyellerini tespit eden ve bu çerçevede üretim mantığını kuran bir işleyiş olarak tanımlanır. Varyasyon ise bu üretim mantığının ürettiği sistem üzerindeki biçim ve müdahale olasılıklarını artırır.

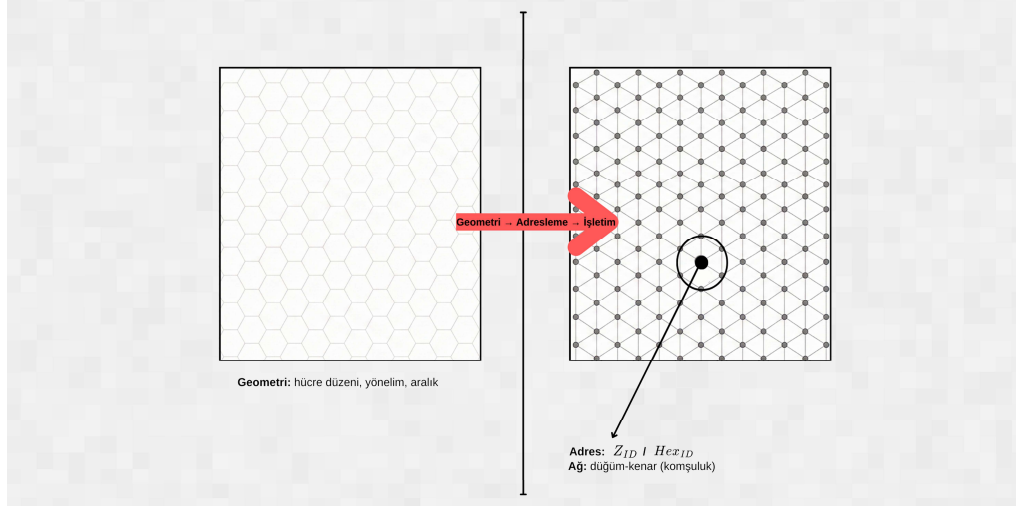
Bu sayede form, geri besleme döngüsü ile sürekli yeniden ayarlanan bir karar yüzeyi olarak okunabilmektedir. Tez çerçevesinde bu üçlü yaklaşım ZMEK hattı üzerinde operatif olarak karşılanır. Kurallar aracılığıyla izlerin protokol olarak metriklere çevrilmesi ve karar ailelerinin (K1-K4) devreye gireceği koşulların tanımlamasına yardımcı olur. Varyasyon sayesinde ise farklı hücrelerde biriken farklı iz yoğunluklarıyla bir arada oluşum gösteren karar parametreleri üzerinden yerel kombinasyonların çeşitlenmesi sağlanır.

Seçilim ölçütleri ise bu çeşitlilik durumunu, belirli eşik bantları (bant, histerezis ve pencereleme) dahilinde kararlı olarak etiketleyerek güncellenmesini sağlayan bir denetim sistemine dönüştürür. Bu sebeple karar, tek seferlik bir optimizasyon çıktısından ziyade hücre ve zaman ölçeğinde iz birikimleriyle beslenen, yerel etkileşim ağları (komşuluk) dahilinde doğrulanarak dengeye ulaşan ve eşik rejimi üzerinden seçim yoluyla güncellenen iteratif bir işletim sistemi olarak tanımlanabilmektedir. Bu bağlamda kararın iteratif üretimi, gridin işleyişini olanaklı hale getiren bir arayüz tanımlamasını gerekli kılmaktadır.

Gridin operatif katmanı bu çerçeve üzerinden ele alındığında, çift katmanlı bir arayüz olarak tanımlanabilmektedir:

- Geometrik katman: hücrelerin düzeni, aralıkları, yönelimleri ve yüzey üzerinde oluşturduğu deseni tanımlarken;
- İşlemsel katman: hücrelerin düğüm, komşulukların kenar olarak tanımlandığı ağ mantığı olarak ele alınabilmektedir.

Bu ağ mantığı verinin depolanması dışında, mekânsal örüntülerin komşuluk üzerinden işlenmesini sağlamaktadır (**Şekil 3.2**).



Şekil 3.2: Hücre düzeninin düğüm–kenar ilişkileriyle işlemsel bir ağ olarak temsili.

Bu çift katmanlı kurgu, operatif sistemi oluştururken iki gerilim üzerinden görünür hale gelir: ilk olarak deneyim ve karar (ölçüm) ayrıklığı gerilimidir. Tezde bu ayrıklaştırma durumu, deneyimi kontrol edilebilir ve doğrulanabilir bir sistem rejimi kurmak amacıyla yararlanılır [Manovich, 2001]. Diğer durum ise ölçüm ve tasarım arasındaki ayrıklığı gerilimidir. Burada ölçüm, tasarımın kurucu protokolü olarak; kanal, metrik ve eşik seçimleri üzerinden kurgulayıcı bir etmen haline gelir [Åström ve Murray, 2008; Dörfler vd., 2023].

Bu bağlamda Manovich [2001], sayısal medyada sürekliliğin ayrık birimlere çevrilmesini (discretization) temel bir işletim ilkesi olarak örnekleme ve nicemleme adımları üzerinden açıklar. Örnekleme, süregelen veriyi belirli aralıklarla ölçerek ayrık bir diziye dönüştürmektedir. Nicemleme ise tanımlı bir aralıktaki örneği sayısal değerlerle eşleştirerek işlemeye uygun bir kod zemini kurma durumunu açıklamaktadır. Bu yaklaşım tez açısından düşünüldüğünde, ölçümün doğrulanabilirliği ve kararın tekrar üretilebilirliğinin kuramsal temelini kurarak, yöntemsel bir gereklilik olduğunu göstermektedir. Bu sayede ayrıklaştırma, temsili bir dönüşüm aracından ziyade verinin okunabildiği, karşılaştırılabildiği ve müdahale edilebildiği koşulları belirleyen bir işletim mantığı olarak düşündürür. **Tablo 3.1**'de kurulan adreslenebilirlik ve komşuluk mantığı, ZMEK sözlüğüyle hizalanır.

Tablo 3.1: İzden Karar aşamasına; adreslenebilir hücre mantığı.

ZMEK Katmanı	Hücresel İşlem (Grid Protokolü)	Operatif işlev	Sistemsel çıktı
Z (Hücre/Adres)	Her hücreyi Z_{ID} , HEX_{ID} ile etiketlemek ve komşuluk ilişkilerini tanımlamak	Adreslenebilirlik: ölçüm-eşik-karar zincirinin aynı düğümde izlenebilmesi	İndekslenmiş hücre ağı (düğüm ve kenar mantığı)
İz	Basınç/ısı/hareket vb. ham izleri ilgili hücre adresinde biriktirmek	Ham akışı “olay”a çevirmeden önce yerinde kayıt	Veri girişi (ham iz birikimi)
M (Metrik)	İzleri zaman penceresi içinde özetlemek	“Anlık değer” yerine pencerelenmiş örüntü üretmek	Kararlı özet (metrik seti)
E (Eşik bandı)	Metrikleri eşik bandı ve histerezis ile değerlendirmek; komşuluk tutarlılığı ile doğrulamak	Yanlış tetiklemeyi sınırlama: tekil sıçramayı değil örüntüyü seçmek	Olay etiketi (tetik koşulu)
K (Karar aileleri)	Eşik koşulu sağlanınca K1–K4 uygun güncellemeyi çağırarak	Kararı “form” değil yerel ayar olarak işletmek	Parametre güncellemesi (porozite, doku, rijitlik, çözünürlük vb.)
Çıktı (Müdahale)	Güncellemeyi yüzey davranışına bağlamak	Operatif gridin etkisini görünür kılmak	Mekânsal tepki (geri besleme)

Bu kuramsal tartışmanın açmış olduğu zemin, gridin işleten bir altyapı olarak ele alınabilmesine olanak tanır. Bu çerçevede ele alınması gereken öncelikli soru, verilerin ayırık adresler üzerinde tutulmasının dışına çıkarak, bu adreslerin çalıştığı yazılımsal kurallar üzerinden bunun mekânsal pratiklere sirayet etme durumunun cevaplanmasıdır. **Kitchin ve Dodge’un [2011]** kod-mekân (code/space) yaklaşımı, yazılımların belirli durumlarda mekânsal düzenin devinimini koşullayan ve mümkün kılan bir etmen sıfatına büründüğünü iddia eder. Bu perspektifte yazılım, mekânda arka planda işeyen bir sistemden çok, sürekliliği kuran bir operasyon katmanı olarak okunabilmektedir.

Evans’ın [1997] ele aldığı temsil aygıtları burada geri çağırıldığında, gridin kurucu bir işlem çerçevesi olarak okunmasını mümkün kılar. Aynı şekilde **Manovich’in [2001]** ayırıklaştırma ilkeleri süregelen deneyimin, ölçülebilir ve doğrulanabilir birimler vasıtasıyla işlenebildiğini göstererek, koşulların tanımlanmasına yardımcı olur. **Kitchin ve Dodge’ın [2011]** yaklaşımı ise yazılımın mekânı temsil eden bir araç durumunun ötesine geçerek, mekânsal pratikleri doğrudan başlatan performatif bir koşula evrildiğini göstermektedir. Tez açısından bu üç yaklaşımdan hareketle gridin işlevi, estetik kaygıların ötesine geçerek; izlerin adreslenmesi, verilerin metrik olarak özetlenmesi, eşik aralığında tanımlı hale gelen operasyon ve parametre düzenlemeleri eksine oturmaktadır. Bu eksen değişikliği ZMEK hattı aracılığıyla sistematik bir protokol olarak kurgulanmaktadır. Dolayısıyla kuramsal çerçeve üzerinde çoğu zaman

temsil düzeyinde kalan tartışmaların, yapılan çalışmada adreslenebilir hücre ölçeğinde operatif bir zemine taşınması amaçlanmaktadır. Bu çerçevede geleneksel Öklidyen grid ile tezde önerilen adreslenebilir altyapı arasındaki temel farklılar üç ana başlıkta ele alınabilmektedir:

- Temsil ve işlem: Öklidyen grid elemanları hizalamak amacını taşıırken, operatif grid ise veriyi tutmak ve işlemek için detaylandırılır. Bu fark, gridi, tasarımın arka planı olmaktan çıkarıp, izlerin toplandığı ve kararların yürütüldüğü bir adres uzayına dönüşümünü vurgulamaktadır.
- Statik ve dinamik: Geleneksel grid sistemde birimler sabittirler ve değişmez bir hiyerarşiyi temsil ederler. Oysaki tezde grid, bedensel izlerin akışına göre yerel güncellemelerle yüzey davranışı üreten “üretken piksel” mantığıyla çalışan dinamik bir arayüz olarak ele alınır.
- Yönsel sapma ve okuma kararlılığı: Kartezyen gridin eksen önceliği, akış ve hareket verisinin okunması sırasında yönsel sapmalar doğurabilmektedir. Bu nedenle tez, gridi operatif okuma ve karar kararlılığı açısından tartışır. Burada belirleyici olan nokta, kararların bedensel akışın yerel işletim mantığına azami sadakatle ve nötr bir tepki geliştirebilecek şekilde uyarlanabilmesidir.

Sonuç olarak bu bölümde grid, adreslenebilirlik ve komşuluk ilişkileri üzerinden hücre ölçeğinde işletilen bir karar zemine yerleştirilmiştir. Bu sayede yöntemsel akış olan; izden metriğe, metriktен eşığe ve eşikten karara giden akışın aynı düğüm noktaları üzerinde karşılaştırılabilir ve üretilebilir hale getirilmesi amaçlanmıştır.

3.1.3. Ayırıklaştırma ve Örnekleme Politikası: Çözünürlük, Ölçek ve Zaman Penceresi

Ayırıklaştırma yaklaşımı, izlerin karar üretim durumuyla ilişkilendirilmesi ve gerekli ölçüm rejimleri üzerinden tanımlanmasını ifade etmektedir. Bu rejim, zamansal güncellemelerin ve mekânsal çözünürlüğün bir arada ele alınıp, tasarlanmasını gereklilik haline getirir. Aksi durumda ölçüm güvenilirliği azalarak, örüntüler yanlış okunabilmekte ve karar üretimi ertelenmiş bir tepkisellik üretebilmektedir. Dolayısıyla sinyal işleme üzerine yoğunlaşan kuramsal çerçeve ele alınarak, sürekliliğin ayırık dizler aracılığıyla temsil edilme şekli ve bu temsilin kararlı hale geldiği koşullar

üzerinden tartışma açılacaktır. Burada ise aynı ilke, ölçüm verisinin örnekleme adresi ve pencereleme koşulları üzerinden kararlı okunabilmesi durumunu, sinyal işleme literatüründen destek alarak ele alacaktır.

Oppenheim ve Schafer [2010] örnekleme (sampling rate) yaklaşımını, süregelen bir sinyalin sayısal ortam üzerinde işlenebilmesi için öncelikli bir koşul olarak ele alır. Örnekleme ile sinyalin, ayrık zaman temelli dizgilere çevrilmesi ve analiz edilebilir yerel bağlam üretmesi amacıyla pencereleme²⁰ uygulamasına ihtiyaç duyulduğunu vurgular. Bu ekseninde örnekleme hızının uygun bir şekilde seçilmediği durumlarda spektral katışma²¹ ile karşılaşılabilceğini söyler. Bu da örüntülerin yanlış temsil edilme riskini arttırmaktadır. Tez çerçevesinde bu yaklaşım, izlerin anlık değerden çok, tanımlı bir zaman penceresi dahilinde birikmiş olan örüntüler olarak düşünülmesinin mantıksal dayanaklarını oluşturmaktadır. Bu sayede pencere boyutu ve örnekleme hızı, sadece teknik bir ayar tanımından ziyade hücre ölçeğinde metriğin kararlılığını tayin eden dinamik bir tasarım bileşeni olarak tanımlanabilmektedir.

Bendat ve Piersol [2010] ise ölçümün kaçınılmaz bir şekilde gürültü ve belirsizlik içerdiğini düşünerek, verinin rastlantısal süreçlerin parçası olarak görür. Bu bağlamda istatistiksel okuma araçlarını (otokorelasyon, spektrum, güç spektral yoğunluğu) sistematikleştirir. Buna istinaden karar üretiminde eş zamanlı tepe değerlere odaklanmayarak, zaman penceresi içinde tutarlı olarak tekrarlayan bileşenlerin tespit edilmesini amaçlayan bir analiz dili oluşturur. Bu yaklaşım doğrultusunda, tezde ölçüm durumunun gürültü anında oluşan bir karar problemi olarak ele alınmasına ortam sağlanır. Bu doğrultuda Bendat ve Piersol'ın analiz dilinden yöntem tasarımında destek alınır. Bu teknik kuramsal zeminin ele alınması gereken diğer bileşeni, ham ölçümlerin özetlenme yöntemine ilişkindir. Bu paralelde **Huber ve Ronchetti [2009]** sağlam istatistik (robust) yaklaşımı, gürültünün fazla olduğu ölçüm düzeneklerinde ortalama gibi duyarlı metriklerin yanıltıcı sonuçlar verebileceğini gösterir.

Bu tip sapma durumlarını en aza indirmek amacıyla sağlam istatistik yaklaşımına başvurulur. Bu yaklaşım, konum ve ölçek kestirimleri aracılığıyla yüzdelik temelli metriklerin karar istikrarına (özetine) ulaşabileceği katkısı temellendirir. Bu sayede

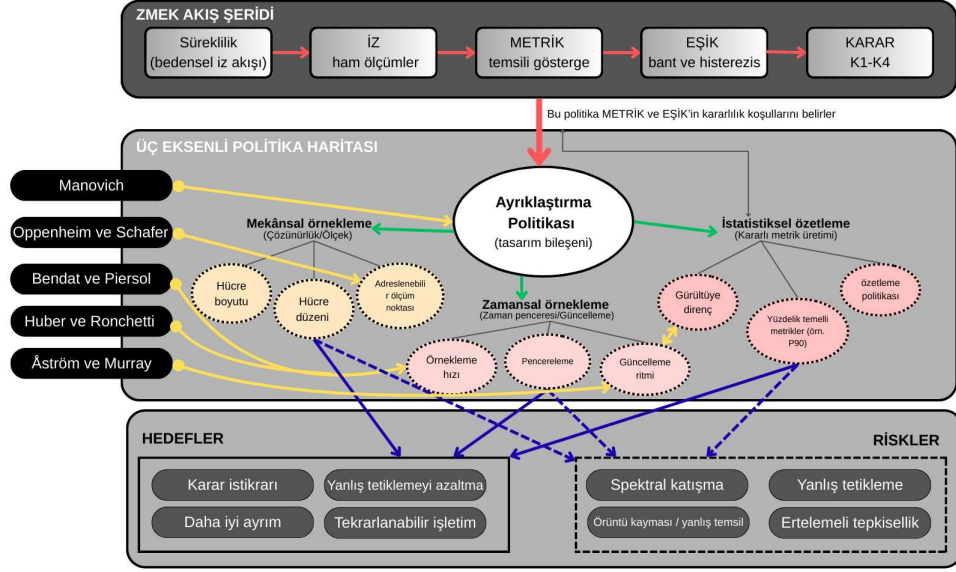
²⁰ Pencereleme (windowing), süregelen bir sinyalin belirli süre aralıklarına kesitlenerek her çerçeve üzerinde özet istatistik niteliği türetmeye elverişli hâle getirilmesini tanımlamaktadır [**Oppenheim ve Schafer, 2010**].

²¹ Spektral katışma (aliasing), örnekleme frekansının yetersiz seçildiği durumlarda, sürekli sinyalin yüksek frekans bileşenlerinden ayık temsil içinde daha düşük frekanslarda görünmesi durumu olarak tanımlanmaktadır [**Oppenheim ve Schafer, 2010**].

ölçüm sadece veri toplama aracı olmaktan çıkarak, veriyi karar üretimine rasyonalize eden bir istikrar (özetleme) politikası olarak ele alınabilmektedir. Sonuç itibarıyla tez, metrikleri izlerin karar mekanizmasını tetikleyen operatif temsili göstergeler olarak yapılandırır. Sağlam istatistik yaklaşımı ise bu göstergelerin gürültü durumuna karşı dirençli kılar.

Kontrol kuramı bu kuramsal tartışmayı, örnekleme ve güncelleme üzerinden zaman boyutuna taşır. **Åström ve Murray [2008]**, geri beslemeli sistemlerde ölçüm ve denetim döngüsünün ayırık zamanlı (discrete-time), örnekleme dayalı işletim rejimi olarak kurulduğunu ifade ederler. Bu bağlamda örnekleme periyodu, gecikme ve güncelleme hızının performansı formüle eden temel tasarım değişkenleri olduğunu tartışmaktadır. Ayrıca kısa süreli güncellenen aralıklar sistemin tepkiselliğini arttırırken oluşan sinyal dalgalanma riskini (jitter) arttırmaktadır. Uzun süreli aralıklar ise zamansal gecikmeleri ve veri kayıplarına sebebiyet vermektedir. Bu yüzden karar rejimi, eşikleme ve ölçüm ritmi göze alınarak tasarlanmalıdır. Tezde bu ikili karakter, eşik rejimi ve güncellenen ritmin bir arada tasarım ilkesi olarak okunabilmesini sağlar. Yapılan araştırma bedensel izleri hücre ölçeğinde karar üretimi süreciyle ilişkilendirir. Bu aşamada ayırıklaştırma, veriyi sadece miktar olarak arttırmak için görevlendirilmez; daha net ayırım yapmayı ve hatalı sinyalleri minimuma indirmeyi amaçlayan strateji seti olarak kurgulanmaktadır. Bu sayede ölçüm rejimi, izden karar aşamasına kadar ZMEK hattı boyunca tekrar üretimi mümkün kılar.

Ele alınmış alan kuramsal arka plan aracılığıyla 3.1.2’de temellendirilen adreslenebilir karar zemini olarak yapılandırıldığında, zeminin yaslanacağı ayırıklaştırma yaklaşımının koşula göre seçim durumu önem arz etmektedir (**Şekil 3.3**). Buna istinaden ayırıklaştırma rejimi; Mekânsal örnekleme (hücre boyutu ve düzeni), Zamansal örnekleme (pencereleme ve güncelleme ritmi) ve İstatistiksel özetleme (izlerin karar için seçilmiş temsili göstergelere çevrilme yolu) eksenlerinden oluşmaktadır.



Şekil 3.3: Ayrıklaştırma ve örnekleme politikası: mekânsal, zamansal ve istatistiksel eksenlerde karar istikrarı.

3.1.4. Komşuluk ve Topoloji: Gridin Ağ Mantığı, Akış Okunabilirliği ve Zon Kümelenmesi

Grid bu noktada, komşuluk tanımı üzerinden ağa dönüşen topolojik bir yapı olarak okunabilmektedir [Newman, 2010]. Bu sayede hücre kimliği yerel örüntülerin komşuluk ilişkileri üzerinden sürdürülebilmesine olanak tanıyan bir şema halini alır. Bu noktada operatif zeminde komşuluk tanımı iki kritik karar durumunu içermektedir: ilk olarak hücrelerin yakın olarak kabul edilebileceği konum, adreslenebilirlik devreye girer (topolojik komşuluk). İkinci olarak bu ele alınan yakınlık durumunun karar üretiminde işlevsel duruma geçmesi dikkate alınır (uzamsal pencereleme ve ağırlıklandırma).

Middleton ve Sivaswamy [2005], komşuluk tanımını ve örnekleme ızgarasının, ayrık temsili olarak sadece geometrik bir taşıyıcı olmadığını, aynı zamanda yönsel yanlılık (directional bias) türetebilen bir okuma koşulu olduğunu tartışmaktadır. Bu paralelde kare ızgaralarda eksenlere bağlı olarak komşuluk ilişkileri aracılığıyla farklı ağırlıklar üretilmesi, uzaklık ve yayılım ölçümlerinde izotropiyi (yön ve bağımsızlık) zayıflatarak ızgara kaynaklı anizotropi (grid-bias) oluşumuna yol açmaktadır. Bu kavramsal çerçeve üzerinden, kare tabanlı gridlerde 4'lü (Von Neumann) ve 8'li

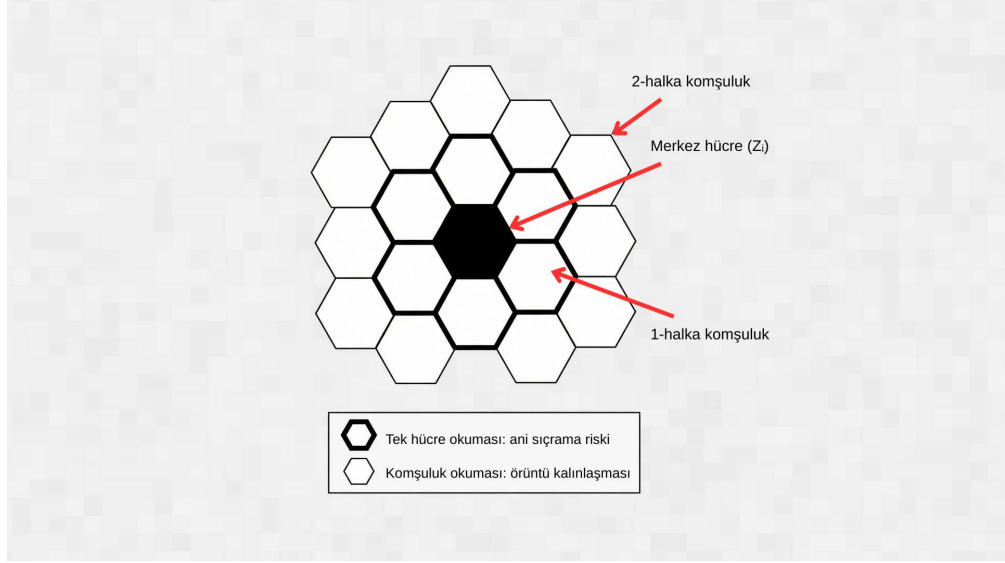
(Moore) komşuluk tanımları²², karar yayılımında yön sapmaları üretebilmektedir. Akış ve hareket okumalarında özellikle eksen önceliği verilerek, anizotropik bir filtreleme durumu oluşabilmektedir.

Altıgen topoloji barındırdığı homojen bağlantısallık ve izotropik komşuluk yapısı aracılığıyla yönsel sapmayı minimuma indireyecek bir sistem okuması imkânı sağlamaktadır [Middleton ve Sivaswamy, 2005]. Tez bağlamında bu tercih, topolojiyi temsil niteliği tartışmasından çıkararak, komşuluk temelli okuma kararlılığı ve karar yayılımının tutarlılığı tarafında yöntemsel parametre olarak konumlandırılmasını sağlamaktadır.

Komşuluk ilkesinin temel yaklaşımı, tek bir hücre sinyalinin yeterli bir kanıt olarak sınıflandırmama becerisidir. Tek bir hücrede gerçekleşen anlık basınç, ısı ve temas değişimi; anlık sıçrama veya sensör hatası sonucunda yanlış okunabilmektedir. Bu sebeple komşuluk durumunda benzer eğilimlerin tekrar etme sıklığı gözlemlenmeli ve değerlendirme sonucu karar üretim rejimine bağlanmalıdır. Dolayısıyla bu durumda tetikleme, hücre değerleriyle birlikte komşuluk içi zamansal tekrar ve tutarlılık durumlarının ele alınarak kurgulanmasını gerektirir [Bendat ve Piersol, 2010; Newman, 2010]. Bu doğrultuda yerel iz, tekil ve yerel bağlam üzerinden okunur. Karar ise tekrarlı ve kararlı örüntülerin ayrıştırılması rejimine eklemlenir.

İzler ve metrikler, ilgili hücrenin yakın komşuluk derecesi bağlamında değerlendirilirler (Şekil 3.4). 1-halka komşuluk, doğrudan komşuluk durumunu ifade edip, yerel kanıt üretir. 2-halka komşuluk ise daha geniş alanı tanımlar; yerel örüntüyü kalınlaştırarak gürültü kaynaklı ani sıçramaları karar üretimine sirayet etmesini sınırlandırır. Bu sayede karar, tekil ölçümden ziyade komşuluk rejimi üzerinden tutarlık gösteren bir örüntüye bağlanmış olur.

²² Neumann komşuluğu, bir hücrenin yalnızca yatay ve dikey dört komşusunu kapsayan alan mantığını tanımlar [Neumann, 1966]. Moore komşuluğu ise yatay ve dikey komşulara ek olarak köşegenleri de dahil eden ve toplam sekiz komşunun kapsayıcı şekilde ele alınmasından oluşan mantığı ifade eder [Moore, 1962].



Şekil 3.4: Uzamsal pencereleme kademeleri.

Netice itibarıyla komşuluk, sadece doğrulama mekanizması olmaktan çıkarak, kararın yüzeyde belirgin hale gelmesini belirleyen bir yayılım (diffusion) ve yumuşatma (smoothing) ilkesi olarak okunabilmektedir.²³

Komşuluk işlemleri, hücre temelli tetiklenmeleri zon düzeyinde (Z) kontrol edilebilir davranış alanlarına dönüştürmektedir. Bu ele alınan dönüşüm, karar ailelerinin üretim ve bakım döngülerinde uygulanabilir bir ölçeğe yerleştirilmesine olanak tanımaktadır. Operatif sistem tasarım bileşeni olan zon etiketleri (Z_{label}), hücre ölçeğinde üretilen eşik ve metrik çıktıların mekânsal olarak kümelenmesiyle elde edilmektedir. Burada amaçlanan nokta, soyut bir sınıflandırma sisteminden ziyade kararın üretime eklemlenebileceği maske alanlar yaratmaktır. Burada zon'un mikro kararları makro yüzey jestine çevirebilen bir arayüz olarak ele alınmış olup, kümelenme ve maskeleme işlem detayları yöntem bölümünde ele alınacaktır. Bu mekanizma sayesinde, ZMEK yöntem hattında hücre ölçeğinde üretilen kararlar; yönetilebilir bir davranış rejimi olarak yüzey bütününde ele alınacak şekilde yapılandırılır.

Sonuç olarak okuma dili kurularak mikro kararların makro yüzey davranışı olarak incelenebileceği gözlemlenmiştir.

²³ Yayılım (diffusion), komşuluk ağı (adjacency) üzerinde yoğunluk gibi bir büyüklüğün kenar ağırlıklarına bağlı olarak komşu düğümlere aktarılıp zamanla dağılmasını tanımlamaktadır. Yerel etkileşimler aracılığıyla küresel bir dağılım üretilmiş olur [Masuda vd., 2017]. Yumuşatma (smoothing) ise ayrık bir yüzey ve ağ üzerinde yüksek frekanslı dalgalanmaların ölçüm ve karar alanında belirlenerek bastırılmasını ifade eder. Bu sayede alan daha düzgün hale gelir ve bir filtreleme etkisi gösterir [Taubin, 1995].

3.1.5. Geometri, Üretim ve Ölçüm Döngüsü: Sapma Yönetimi, Doğrulama ve Bakım Mantığı

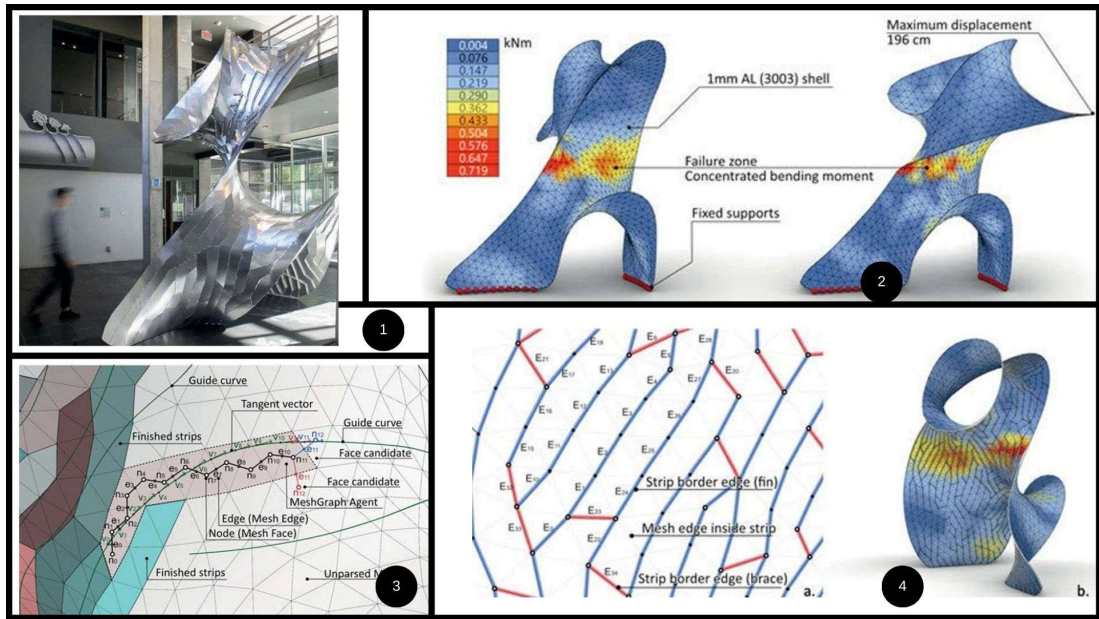
Gridin bir karar yüzeyi işleviyle operasyonel zemine oturtulması, geometriyi tasarım yaklaşımının nirengi noktası olan statik bir ideal düzen olmaktan çıkararak; üretim, yerleştirme ve kullanım evreleri süresince ölçümle süregelen kalibre edilen operatif bir zemine taşımaktadır. **Dörfler vd. [2023]**, ilk form bulma sürecinde yapım aşamasından izleme aşamalarına kadar bu kurucu unsur önemini korumaktadır. Bu doğrultuda geometri, tek başına işlevselleşen bir biçim bulma sürecinden çok, sensör verilerinin işlenmesi ve karmaşık yüzey sistemlerinin üretimini olanaklı hale getiren geri beslemeli bir sistemdir. Tezde bu yaklaşım, ZMEK hattına eklemlenmesini sağlayarak, ayrıklaştırılmış yüzeyin oluşturmuş olduğu sapma durumunu sisteme yönetilebilir bir tolerans rejimi olarak entegre eder. Sapma yönetimi, ayrıklaştırma ve yerleştirme aşamalarının bir arada sentezlediği farkların analitik bir yolla ayrıştırılmasını gerektirmektedir. **Nejur [2023]**, büyük ölçekli mimari yüzey üretiminde ayrıklaştırma işleminin yapısal bir gereklilik olduğunu vurgulamaktadır. Fakat bu işlem dezavantaj olarak malzeme süreksizliği ve geometrik sapma durumlarıyla karşılaşılabilceğini gösterir. Bu çerçevede sapmalar iki düzlem üzerinden okunabilmektedir:

- Sistematik sapmalar: eklemlenme sınırları, birleşim detaylarındaki süreksizlikler ve imalat sınırlarından kaynaklanan, modelin varsayımlarına dahil edilebilen, öngörülebilir sapmalar olarak tanımlanabilmektedir.
- Rastlantısal sapmalar: tekil üretim hataları, sensör verilerindeki ani sıçramalar ve kullanım anındaki beklenmeyen etkiler öngörülemez karakterli sapmalar olarak ele alınabilmektedir.

Bu bakış açısına göre tezde önem arz eden nokta, sistematik sapmaları operatif zeminde ele almak; rastlantısal sapmaları ise sağlam istatistik ve filtreleme döngüleri aracılığıyla zaman-bağımsız şekilde işleme sokmaktır.

Bu bağlamda **Nejur'un [2023]** ele aldığı doğrulama (verification) yaklaşımı, tek seferlik değerlendirmeden ziyade periyodik ölçüm ve yeniden ayar protokolleri aracılığıyla kurulan bir bakım rejimi olarak tanımlanır. Advances In Architectural

Geometry 2023 yayınında tartışmaya açtığı sapma yönetimi, tasarım amacının mutlak geometrik bir çakışmasından ziyade sapmanın kritik değere ulaştığı konumu saptayan ve çözüm uzayını yumuşak iyileştirmeler (soft refinement) ile güncelleyebilen doğrulama mantığı üzerinden vurgulamaktadır. Tezde bu yaklaşım, eşik bandı zeminiyle analogik bir yöntemsel zemine dönüşür. Burada hedeflenen durum, metriklerin bantlar içinde istikrarlı bir durumda yerleşmesini sağlayacak bir bakım rejimi oluşturmaktır. Bu doğrulama ve bakım mantığı, **Şekil 3.5'te** ayrık geometride ele alınan sapma yönetimi ve doğrulama mantığı üç bileşen üzerinden ele alınır. Sayısal ortamda oluşturulmuş model ile prototip arasındaki ölçülebilir ve haritalanabilir sapma alanını göstermektedir. Sapma alanı, ölçüm, analiz ve yeniden ayarlama adımlarından oluşan döngüsel bir iş akışı içinde periyodik olarak gözlemlenmektedir. Burada Karar yüzeyinin işletim koşulları geri besleme aracılığıyla yeniden kalibre edilir. Yumuşak iyileştirme aşaması gözlemlenir. Burada ana hedef, doğrulamamanın mutlak bir çakışma vermesinden ziyade tolerans rejiminin sapmanın kritik değerde olduğu durumlarda yerel düzenlemelerle kurulumu gerçekleştirmesidir. [Nejur, 2023].



Şekil 3.5: Ayrık geometrilerde sapma yönetimi ve doğrulama mantığı. [Nejur, 2023]'ten uyarlanmıştır.

Bu noktada üretim tekniklerinin ayrık geometri üzerindeki etkisi, üretim parametrelerinin ayrıklaştırma ilkesiyle birlikte düşünülmesini gerektirmektedir. Nejur'un altını çizdiği yeterli ve aşırı ayrıklaştırma arasındaki sınır, üretim maliyeti ve

montaj detaylarına bağılı olarak tanımlanır. Burada daha küçük hücreler yüksek adaptasyon gösterirken üretim toleransında azalmalar gözlenebilmektedir. Daha büyük hücreler ise üretim aşamasını kolaylaştırırken karar yüzeyinin tepki hassasiyeti azalabilmektedir. Tezde bu zıtlık durumu, tek bir optimum savından çok işletilebilir optimum mantığıyla yürütülür. Bu sayede hem üretilebilirlik artarken hem de ölçüm ve karar kapasitesinde denge aralığına yerleşilebilmektedir.

Netice itibarıyla metriklerin hedef eşik bantlarında tutulması, kararların dalgalanmalar ve gecikmelerden etkilenmeden çalışmasını mümkün kılar. Bir sonraki bölümde üretken piksel, bu kuramsal ve teknik temelden destek alarak operatif sözlük aracılığıyla detaylandırılacaktır. ZMEK hattının hücre ölçeğindeki karar üretimindeki rolünün ele alınması amaçlanmaktadır.

3.2. Üretken Piksel: Gridin Yerel Metriklerle Güncellenmesi

Bu bölüm, kurulan adreslenebilir karar zemini (3.1.2), ayırıklaştırma ve örnekleme politikası (3.1.3), komşuluk ve topoloji mantığı (3.1.4) ve üretim, ölçüm ve bakım döngüsü (3.1.5) üzerinden yükselerek “üretken piksel”i operatif bir işletim rejimi olarak tanımlar. Üretken piksel, hücre ölçeğinde (Z_{ID} , Hex_{ID}) çalışan ve yüzey parametrelerini yerel olarak güncelleyen bir karar birimi olarak tanımlanır.

Bu tezde üretken piksel yaklaşımı uygulamada ayırık hücre birimi üzerinde işletilmektedir. Metrikler, eşikler ve kararlar hücre ölçeğinde tanımlanmaktadır. Eşik bandı işletildikten sonra hücreler bir zon etiketine atanmakta, karar aileleri bu etiket üzerinden seçilerek parametre olarak belirlenmektedir. Bu çerçevede temel terimler şu şekilde ele alınabilmektedir:

- Hücre (Z_{ID} , uygulamada Hex_{ID}): iz–metrik–eşik–karar dizgesinin işletildiği en küçük operatif birim.
- Zon etiketi (Z_{label}): hücre ölçeğinde üretilen metrik–eşik çıktılarının mekânsal kümelenmesiyle elde edilen maske/etiket düzeyi.
- Karar parametreleri: geçirgenlik, yönlendirme/yönlü doku, yerel sertlik, mekânsal çözünürlük gibi yüzey ayar değişkenleri.

3.2.1. Kapsam ve Amaç

Üretken piksel yaklaşımının hedefi, gündelik devinimlerin ürettiği iz örüntülerine duyarlı, süreklilik içinde ayar alan bir yüzey davranışı kurmaktır. Bu çerçevede grid, kullanım sırasında oluşan iz yoğunluklarına göre yerel düzeltmeler üreten bir karar zemini olarak ele alınır. Her hücre, belirli koşullarda yüzey parametrelerine küçük ama birikimli ayarlar uygular. Bu ayarlar, komşuluk içinde kademeli yayılarak bütüncül perspektifte yüzeyde okunur bir davranış üretirler.

Kapsam olarak 3.2, kuramsal gerekçeleri yeniden açmak yerine, 3.1’de kurulan altyapıyı operatif sözlüğe çevirir ve şu iki sınırı korumayı hedefler:

- Metriklerin sayısal tanımı ve parametre seçimi (pencere boyutu, ölçekleme, sağlam istatistik vb.) bu bölümde ayrıntılandırılmaz; Bölüm 6’da protokolleştirilecektir.
- Zon üretiminin (kümelenme, maskeleme, morfolojik düzeltmeler) işlem ayrıntıları bu bölümde yöntem düzeyinde ele alınmamaktadır. Bölüm 5 ve 6’da bu bileşenler akış ve uygulama düzeyinde ele alınacaktır.

3.2.2. Temel İşleyiş: ZMEK (İz–Metrik–Eşik–Karar)

Üretken piksel işletimi, hücre ölçeğinde ZMEK hattını adlandırma düzeyinde kurar. Tekrarlanabilir protokol adımları ve değerlendirme mantığı Bölüm 5.2’de metrik ve eşiklerin hesaplanabilir tanımları üzerinden sabitlenirken, parametre aralıkları ise Bölüm 6’da standartlaştırılır.

İz: Ham kanallardan (basınç, ısı, hareket) gelen akışın hücre üzerinde birikerek örüntü üretmiş hâlidir.

Metrik: İzlerin örnekleme–pencereleme–özetleme ilkeleriyle karşılaştırılabilir özelliklere çevrilmiş hâlidir (bkz. 3.1.3).

Eşik: Metriklerin “olay” durumuna geçmesini sağlayan bant/histerezis temelli seçim rejimidir (eşik bandı: P80–P95; ilke ve gerekçe: Bölüm 5.2.3; teknik işletim: Bölüm 6.4).

Karar: Olay seçimi sonrası, hücre/zon bağlamında K1–K4 karar ailelerinin devreye girmesiyle yüzey parametrelerinin güncellenmesidir (tektonik karşılıklar: 5.2.4; sayısal bağ: Bölüm 6).

3.2.3. Karar Aileleri (K1–K4)

Üretken piksel aşamasında kararlar, hücre/zon bağlamında yüzey davranışını güncelleyen müdahale aileleri olarak tanımlanır. Bu tezde karar uzayı K1–K4 altında toplanır ve zon etiketi (Z_{label}) üzerinden etkinleştirilir:

K1 – Porozite: açıklık ve boşluk oranı ayarı.

K2 – Yönlü doku: yönlenme ve doku doğrultusu ayarı.

K3– Yerel sertlik: rijitlik ve sönümleme profili ayarı.

K4 – Çözünürlük: hücresel çözünürlük ve detay düzeyi ayarı.

Bu alt başlık, K1–K4’ün taksonomisini sabitlemektedir. Kararların tektonik parametrelere çevrimi Bölüm 5.2.4’te, parametrelerin sayısal aralıkları ve ölçeklendirmesi Bölüm 6’da verilecektir.

3.2.4. Güncelleme Rejimi: Komşulukla Uyum ve Kademeli Yayılım

Üretken pikselin kritik şartı, güncellemenin tek bir hücrede sıçrama üretmek yerine komşuluk ilişkileri kapsamında doğrulanarak ve aşamalı bir şekilde yayılarak yüzeye işlenmesidir (bkz. Bölüm 3.1.4). Bu ilkenin protokol karşılığı Bölüm 5.2.4’te tanımlanacaktır.

- İndeksleme (atama) hattı: $Z_{ID} (Hex_{ID}) \rightarrow Z_{label} \rightarrow K1 - K4$
- ZMEK adlandırma hattı: $\dot{I}z \rightarrow Metrik \rightarrow Eşik(bant) \rightarrow Karar$
- Güncelleme ilkesi: Komşulukla doğrulama, kademeli yayılım ve bakım döngüsü (bkz. 3.1.5)

4. BEDEN–ÜRETKEN PİKSEL ARAYÜZÜ: MİKRO JESTTEN TEMSİLİ GÖSTERGE'YE

Bu bölümde bedenin gündelik devinimlerinin çıktısı olarak ele alınan mikro jestlerin, tasarım kararıyla ilişkilendirilmesi ele alınıp, operatif bir sözlük aracılığıyla detaylandırılması amaçlanmaktadır. Bu eksende Bölüm 3'te ele alınan ZMEK işletimin teknik kuramsal çerçevesi bölünmeden, iz ile metrik arasındaki kavramsal çeviri katmanına odaklanılarak temsili gösterge katmanı oluşturulur. Bu sayede karar ailelerinin (K1–K4) bedensel kaynaklı gerekçeleri okunabilir hale getirilir.

Bölümde ele alınan kavramlar, analitik sistemin aşamalı soyut katmanını temsil etmektedir. İz kavramı, başlangıç adımı olarak sahadan elde edilen işlenmemiş veriyi ifade etmektedir. Temsili gösterge ise izler üzerinden türetilen, niteliklerin okunmasına olanak veren gösterge sınıfları tanımlamaktadır. Son aşamada bu gösterge sınıfları, Bölüm 6'da ele alınacak olan hesaplamalı tasarımın temelini oluşturan metriklere dönüştürülür.

4.1. Mikro Jest Sözlüğü

Mikro jest, mekânsal davranışı etkileme potansiyelini barındıran, kısa süre ile düşük genlik niteliğini barındırsa daha etkisi devam edebilen hareket parçacıkları olarak tanımlanabilmektedir. Örnek senaryolar; kısa duraksama anları, yeniden akışa katılım, anlık ağırlık aktarımı, yön kırılması ve temasın artarak hücreler arası dağıldığı eylem grupları olarak ele alınabilmektedir.

Hansen'ın [2006] tartıştığı çerçeveye uyumlu olarak (bkz. Bölüm 2.4) jest bu noktada, temsil edilmek istenen bir görüntüden ziyade iz bıraktığı ölçüde yerinde ayar üretebilen bir olay olarak düşünülebilmektedir. Sözlüğün ana odağı, jestleri nicelik olarak arttırmaktan çok, karar yüzeyinde operatif değişim gösteren jest ailelerini ayrıştırmaktır. Bu nedenden ötürü gündelik hareket kümesi tamamı işlenmemektedir. Bu paralelde sadece tekrar durumu üzerinden mekânsal davranışta izlenebilir bir değişim yaratan ve karar üretiminin çözünürlüğünü arttıracak jest kümeleri seçilir. Bu seçicilik durumu, sözlük kapsamında üç dayanak üzerinden şekillenmektedir: İlk olarak tekrarlanabilirlik dayanağı, tek bir ana odaklanmaktan ziyade ritimsel tekrarlar

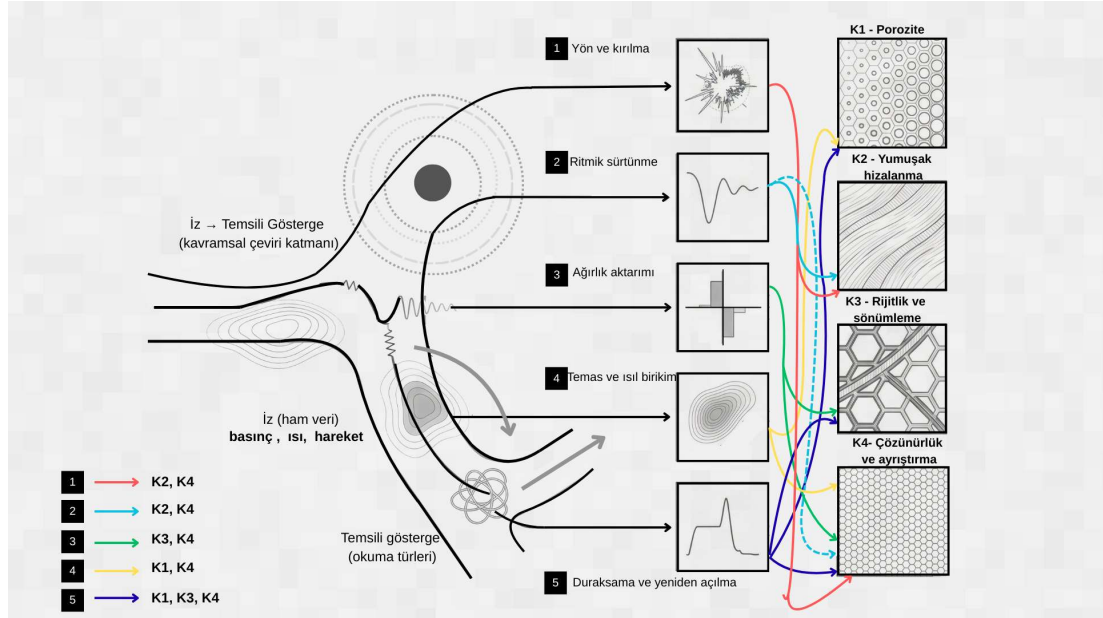
vasıtasıyla örüntü üreten jest tiplerini ifade eder. Yerellik ise grid hücreleri arasındaki komşuluk ilişkileri bağlamında zonlaşma üreten jest durumlarını ifade eder.

Eyleyebilirlik, yüzeyin K1-K4 karar ailelerinden en az birini; okunaklılık, konfor, yapısal süreklilik gibi mimari olarak gerekçelendirilmesini sağlayan jest türlerini kapsar. Bu üç dayanak, seçilen jestlerin sadece sınıflandırmasını sağlamaz, aynı zamanda karar yüzeyinde operatif parametreler ile bunların temsil edildiği gösterge hatları arasındaki ilişkilimenin temellendirilmesine yardımcı olur. Bu bağlamda sözlükte ele alınan gösterge tipolojileri verilen eksenlerce gruplandırılabilir:

- Şiddet ve yüklenme türü: Temasın yoğunlaşp artması, yük aktarımı, ankraj oluşturma gibi ağırlık yapısını temsil eder (K3).
- Süreklilik ve konaklama türü: Kısa duraksama, yığılma, yeniden akışa katılım gibi zaman niteliklerini temsil eder (K1, K3, K4).
- Yönlenme ve rota türü: Yön kırılması, dolanım gibi uzamsal örgütlenme niteliklerini ifade eder (K2 ve K4).
- Temas dağılımı ve yayılım türü: Temasın yerel olarak yoğunlaşması ya da yayılması, yüzeyde boşluklanma gereksinimini tanımlar (K1).

Bu ölçütler, sözlük kapsamını bilinçli olarak kısıtlayarak jest kümesinden ziyade bir karar sözlüğü üzerinde temellenerek ilerlenmesini sağlar. Bu çeviri dilinin saha üzerinde çalışma işleyişi örnek örüntüler üzerinden detaylandırılabilir. Bu bağlamda yön ve kırılma jestleri, yön sapması ve dönüş yoğunluk göstergelerinin okunması üzerinden tanımlanmaktadır. Bu örüntü, mekânsal eksende yumuşak hizalanma (K2) yönelimini arttırırken karar bölgelerinde mekânsal ayrışmayı (K4) görünür hale getirmektedir. Ritmik sürtünme, mekânsal olarak geçiş eyleminin somut olarak gözlemlendiği kapı eşiği gibi alanlarda meydana gelen hız düşüşleri ve akış değişim dalgalanmalarının, hız ve tempo bileşenleri aracılığıyla okunmasıyla belirlenmektedir. Ağırlık aktarımı ise yükün heterojen olarak yığılma gösterdiği veya eylemsel olarak destek arayışında ortaya çıkan yük yoğunluğu ve aktarımın homojen olmayan metrikleri aracılığıyla izlenmesiyle tanımlanabilmektedir. Bu hareket örüntüleri yerel ölçekte rijitlik ve sönümleme (K3) ihtiyacını arttırmaktadır. Temas ve ısı birikim, bedenler arası yakın temas veya omuz omuza geçiş durumların ürettiği yerel ısı adacıklarının, temas sürekliliği ve ısı gradyan üzerinden temsilini tanımlamaktadır. Bu örüntülerde etkileşimle birlikte yüzeyde porozite (K1)

gereksinimi artarken odak noktalarındaki mekânsal yoğunlukta (K4) artma gözlemlenmektedir. Son safhada yer alan duraksama ve yeniden açılma, çok kısa süreli bekleme olarak tanımlanabilen duraksama anları ile arkasından gelen yeniden akışa katılım durumunun, süre ve yük birikimi temsilleriyle analiz edilmesi üzerinden tanımlanmaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: Mikro jestlerin temsili gösterge türleri üzerinden K1–K4 karar ailelerine bağlanmasını özetleyen eşleme şeması.

Bu ekseninde **Tablo 4.1**'de ele alınan temsili gösterge sınıfları, jestin karar olarak ürettiği anlamı sınırlandırarak ZMEK yöntem akışı üzerinden metrik, eşik ve karar adımlarına uygulanabilir bir dil üretilmiş olur.

Bu noktada **Tablo 4.1** çeviri anahtarı işlevini görür. Sol sütunda yer alan jestler doğrudan karar durumunu tetiklemezler. Orta sütunda yer alan temsili gösterge türleri, jestin karar olarak okunacağı eksenini konumlandırır. Sağ sütunda yer alan karar aileleri ise üretilecek olan tektonik senaryonun doğrultusunu tayin ederler. Bu sebeple, tek bir doğru eşleşme savından ziyade aynı jestin koşullara bağlı olarak birden fazla karar ailesine temas edebileceği öngörülerek kabul edilir. Bu ele alınan sınıflama, Bölüm 4.2'deki Efor diline (ağırlık, zaman, uzam, akış) kavramsal olarak bağlanır.

Tablo 4.1: Mikro jestlerin temsili gösterge türleri üzerinden K1–K4 karar aileleriyle ilişkilendirilmesini özetleyen operatif eşleme çerçevesi.

Jest ailesi	Algısal/deneyimsel işaret	Temsili Gösterge(Proxy türü)	K1–K4 etkisi
Yön-kırılma (omuz/kalça eksenî, bakış kırılması)	Karar noktasında tereddüt, rota arama, ani yön değişimi	Yön sapması / dönüş yoğunluğu, yön kararlılığı	K2 ↑ (yumuşak hizalama), K4 ↑ (karar bölgesinde ayrıştırma)
Ritmik sürünme (mikro-yavaşlama/hız dalgası)	Sıkışıklık, kapı eşiğinde hız düşüşü, akışın dalgalanması	Hız/tempo profili, durma süresi	K4 ↑/↓ (belirsizlikte artar; akışta sadeleşir), K2 (bağlama göre)
Ağırlık aktarımı (yük bindirme, basınç asimetrisi)	Yükün bir tarafa yığılması, otur-kalk eşiği, destek arama	Yük yoğunluğu, aktarım asimetrisi, yük tepe/dağılım karakteri	K3 ↑ (yerel rijitlik/sönümleme), K4 (yerel ayrıntı)
Temas/ısı birikim (temas + lokal ısı artışı)	Yakın temas, omuz omuza geçiş, lokal ısı “adacıkları”	Isıl gradyan / lokal birikim, temas sürekliliği	K1 ↑ (porozite), K4 (odakta artış)
Duraksama → yeniden açılma (mini bekleme, yeniden akışa katılım)	Kapı önü/kasa sırası “mini bekleme”, tekrar hareketlenme	Durma süresi, yeniden hızlanma eğimi, yük birikimi göstergeleri	K3 ↑ (tutulmuş/sönümleme), K1 (mikro porozite), K4 (yerel)

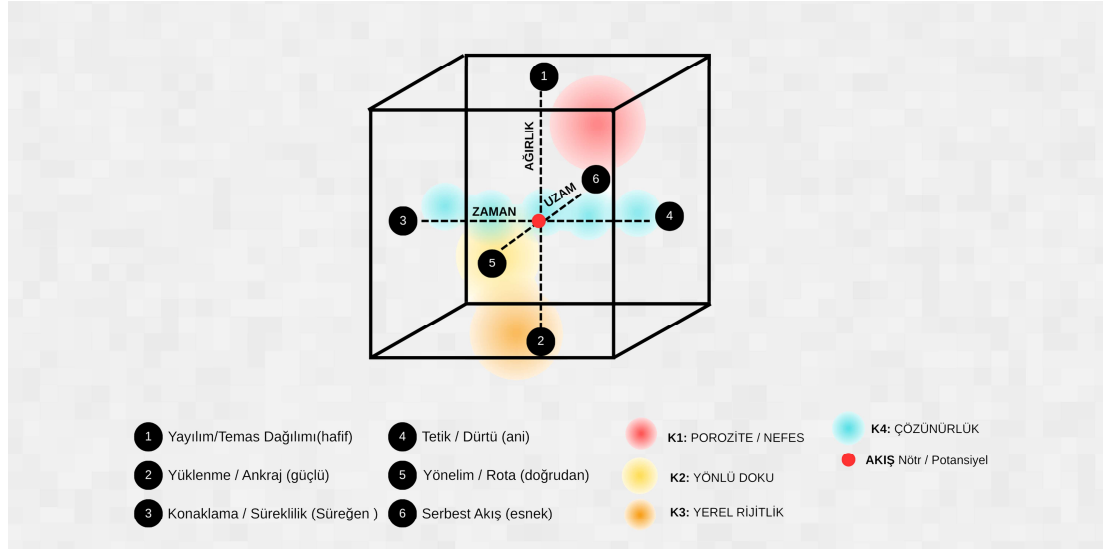
4.2. Laban Efor Yaklaşımı: Temsili Gösterge Türlerinin Hareket Niteliğiyle İlişkilendirilmesi

Bu tezde Laban Efor Analizi²⁴ (Laban Effort Analysis), jestleri sınıflandıran bir etiketleme sisteminden ziyade ZMEK akışında oluşan yerel kararların rasyonel gerekçeleri ve belirli hareket parametreleri üzerinden çözümlenebileceğini açıklayan operatif bir dil olarak konumlanmaktadır. Bu çerçevede efor, ölçüm sonucu şekillenen temsili gösterge türlerinin (yük yoğunlaşması, süreklilik, yönlenme vb.), işaret ettiği hareket karakterini somutlaştırarak karar durumlarının açıklanmasına katkı sağlamaktadır.

Bu paralelde Efor bileşenleri tezde iki ana katman üzerinden ele alınır (**Şekil 4.2**). Ağırlık ve zaman, versiyon 1 (v1; tezin 6.bölümünde detaylı ele alınacak olan prototip) doğrulamasında doğrudan olarak gözlemlenebilen çekirdek eksenleri tanımlamaktadır.

²⁴ Bu bölümde kullanılan terminoloji, Laban Efor Analizinin (Laban Effort Analysis) dört eksenli çerçevesinden (Weight, Time, Space, Flow) kavramlarından yararlanılmıştır. Bu kavramların Türkçe karşılığı olan; Ağırlık, Zaman, Uzam ve Akış üzerinden konu ele alınmıştır [Newlove ve Dalby, 2003].

Nitekim yük aktarımı ve temas sürekliliği, mikro jestlerin şiddet ve ritim (periyodiklik) gibi niteliklerini teorik düzlemde temsil etmektedir. Uzam ve Akış ise kararın okunabilirliğini arttırmak amacıyla açıklayıcı eksenler olarak ele alınmaktadır. Bu eksenler, hareketin doğrudan ya da dolaylı örgütlenmesi, akışın serbest veya sınırlı nitelikleri ve aynı zon üzerinde biriken izlerin niyet ve kısıt boyutlarının ²⁵ açıklanmasında destekleyicidirler.



Şekil 4.2: Tektonik Karar Uzayı Şematik Gösterimi. [Newlove ve Dalby, 2004]'den uyarlanmıştır.

Şekil 4.2’de, Efor bileşenlerinin karar uzayındaki ilişkisel konumlarını ve bu konumların temsili gösterge türleri üzerinden K1–K4 karar ailelerini destek verebileceği şekilde geniş perspektifte görünür kılınmaktadır.

Bu çerçevede örnek okumalar üzerinden sistem somut olarak gözlemlenebilmektedir: temasın belirli bir noktada yoğunlaşıp yerel bir temas odak durumunun tekrar üretildiği (ankraj) saha senaryolarında ağırlık niteliğinin şiddeti artar ve yerel sönümlleme ihtiyacı vasıtasıyla K3 karar ailesi belirgin bir şekilde gözlemlenir. Diğer yandan süregelen yerleşmiş örüntülerinin arttığı senaryolarda kararın zamana yayılması ve yüzeyin yerel boşluklanma gereksinimi görünürlük kazanarak K1 ve K4 karar ailelerinin dayanağı sağlamlaştırılır.

²⁵ Bu bölümde niyet, bedensel eylemin yönelimsel niteliğini, hareketin rastlantısal gürültüden çok belirli bir amaçlı düzene doğru kurgulandığını tanımlayan fenomenolojik hattı belirtmek üzere başvurulur [Merleau-Ponty, 2012]. Kısıt ise eylemin görünür olduğu senaryolarda; çevresel düzenlemelerin, etkileşim şartlarının ve mekânsal sınırların hareket kümesini şekillendiren ya da sınırlayan parametrelerini tanımlamaktadır [Newell, 1986].

Bu noktada çok eksenli okuma düzleminin daha sistematik ele alınabilmesi amacıyla, Efor bileşenleri, temsili gösterge türleri ve K1–K4 arasındaki ilişki **Tablo 4.2**’de bir gerekçelendirme matrisi olarak bir araya getirilmiştir.

Tablo 4.2: Efor bileşenleri ile temsili gösterge türleri ve K1–K4 karar aileleri.

Efor(Effort) bileşeni	Sahada görülen örüntü	Ölçü türü	K1–K4 etkisi (tasarım kararı)	Eşik bandı notu
Ağırlık (Weight) (Hafif/Güçlü)	Yük bindirme, aktarımın belirginleşmesi, “basma/taşıma” niteliği	Basınç yoğunluğu, aktarım asimetrisi	K3 Yerel rijitlik	Tek eşik yerine, kısa süreli yükselişleri filtreleyen açılma–kapanma bandı
Zaman (Time) (Sürdürülen/Ani)	Hızlanma–yavaşlama kırılmaları, duraksama, ritim dalgalanması	Hız/ritim profili, duraklama süresi	K4 Çözünürlük	“Ani” durumu tek ölçümle değil, zaman pencerelerinde bant olarak yakalar.
Uzam (Space) (Doğrudan/Dolaylı)	Doğrultu kararlılığı / kıvrımlı yönelim, yön kırılmaları	Yön sapması / yön vektörü kararlılığı	K2 Anizotropi	Yön değişimi “olay” değil, komşulukta yayılan gradyan olarak eşiklenir.
Akış (Flow) (Sınırlı/Serbest)	Akışın kesintisizliği / kontrolü, sıkışma–çözülme	Süreklilik / kesinti göstergeleri (ikincil: ısıl/temas yükü)	K1 Porozite	Serbest/bağlı ayrımı, bağlama göre iki eşikli (histerezisli) bantla daha kararlı okunur.

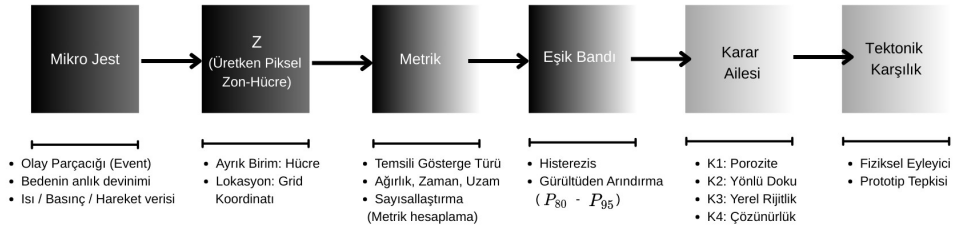
Ağırlık ekseninde yön bağımlılığı ve basınç yoğunluğu, K3 (yerel rijitlik) karar mekanizması için çekirdek kanıt çerçevesini üretir. Ek olarak zaman ekseninde hız ve ritim profili ve duraksama süreleri, K4 (çözünürlük) karar ailesinin etkinleştiği koşulları okumayı mümkün kılar. Uzam ekseninde yer alan yön sapması ve vektör kararlılığı, K2 (anizotropi) karar ailesinin yönlü hizalanma düzleminde temellendirilir. Ayrıca akış ekseninde konumlanan süreklilik göstergeleri, K1 (porozite) karar ailesini sıkışma ve çözülme örüntüleri üzerinden gerekçelendirir.

Sonuç olarak, mikro jestler üzerinden şekillenen temsili göstergelerin ifade ettiği hareket niteliği, Efor dili üzerinden görünür kılınmaya çalışılmıştır. Böylece, K1–K4 karar ailelerinin gerekçelendirmeleri okunabilir bir düzleme bağlanmaktadır.

4.3. ZMEK Çeviri Merdiveni: Kavramsal Yerleşim

Bu bölümde, 4.1’de tanımlanmış olan mikro jest ve temsili gösterge sözlüğü ve 4.2’de tanımlanmış olan Laban Efor yaklaşımı aracılığıyla netleştirilen hareket okumasını, ZMEK operatif akış hattı üzerinde temellendirir.

Şekil 4.3’te ele alınan çeviri merdiveni, mikro-jestleri (olay parçacıkları) ilk olarak ölçümün mekânsal taşıyıcısı olan hücre (Z) üzerinde bağlama yerleştirir. Bu anlamda Z katmanı, Üretken Piksel yaklaşımının ayrıık hesap birimini (Z_{ID} , uygulamada Hex_{ID}) ifade etmektedir. Zon, hücreleri komşuluk bağlamında üretmiş olduğu mekânsal küme düzleminde tanımlamaktadır. Ayrıca zonlar sahada, Z_1-Z_4 zon maskeleri ile konumlandırılırlar. Bu aşamayı takiben Metrik türü (M) düzleminde takip edilebilirlik kapsamında dahil edilecek etmenler, temsili gösterge türleri vasıtasıyla tanımlanır. Eşik (E) düzleminde ise sürecin bu aşamasına kadar tanımlanmış olan göstergeler, tek bir değerden ziyade eşik bandı ve histerezis ilkeleriyle kararlı olay seçimine hazırlanır. Netice itibarıyla Karar (K) düzleminde iz örüntüleri, K1–K4 karar ailelerine bağlanır. Bu aileler, kararın tektonik karşılığı olarak eyleyici²⁶ (müdahale) aileleri üzerinden ele alınır.



Şekil 4.3: ZMEK çeviri merdiveni.

Tezde ZMEK akışı, iki katmanlı kapsam dahilinde ele alınmaktadır: referans mimari (dijital ikiz) senaryosu; basınç, ısı ve hareket kanallarını bütüncül bir perspektifle ele alırken, versiyon 1 (v1) prototip ise mevcut donanım altyapısınca basınç ve ağırlık kanalları ekseninde kurgulanır.

²⁶ Eyleyici sınıfı, K düzeyinde üretilen kararın yüzeyde uygulanabilir karşılığını taşıyan parametre setini (porozite, yönlü doku, rijitlik, çözünürlük vb.) ifade etmektedir.

Bu bağlamda, ağırlık ve zaman eksenindeki temsili göstergeler gözlemlenir ve bu göstergelerin ilk olarak K3 olarak tanımlanan karar ailelerinin, ilgili niteliğinin belirginleştiği bağlamsal zemin ve çerçevenin bütünlüğü sistematik olarak korunur. Bu yerleşim üzerinden üç eksenle operatif sınırlılık sürdürülür:

(1) Tekil olay değil örüntü: karar, anlık bir sıçramadan ziyade tekrar eden örüntüler üzerinden anlam kazanır. Bu sebeple E düzleminde eşik bandı yaklaşımı, süreklilik kazanan belirleyici durumların tayin edilmesi için elzemdir.

(2) İşaret fazlalığı gürültü üretir: okunaklılık çoğu zaman daha fazla işaretle değil, doğru yoğunluk ve dağılımla güçlenir. Bu doğrultuda, M düzeyinde tür çoğaltmaktan ziyade sınırlı temsili gösterge aileleriyle çalışmak ve K düzeyinde parsimoni ilkesini ²⁷korumak esastır.

(3) Her sahne aynı eşikle yönetilmez: zonların kullanım rejimleri farklılaştıkça eşik bantlarının bağlama göre güncellenmesi gerekir. Bu yaklaşım, kentsel ve mekânsal örgütlenmeyi “field conditions” olarak ele alan diyagram mantığıyla uyumludur (bkz. Bölüm 3.1.2).

4.4. Uzamsal Hizalama İçin Homografi Prensibi: Statik Görsel Doğrulama

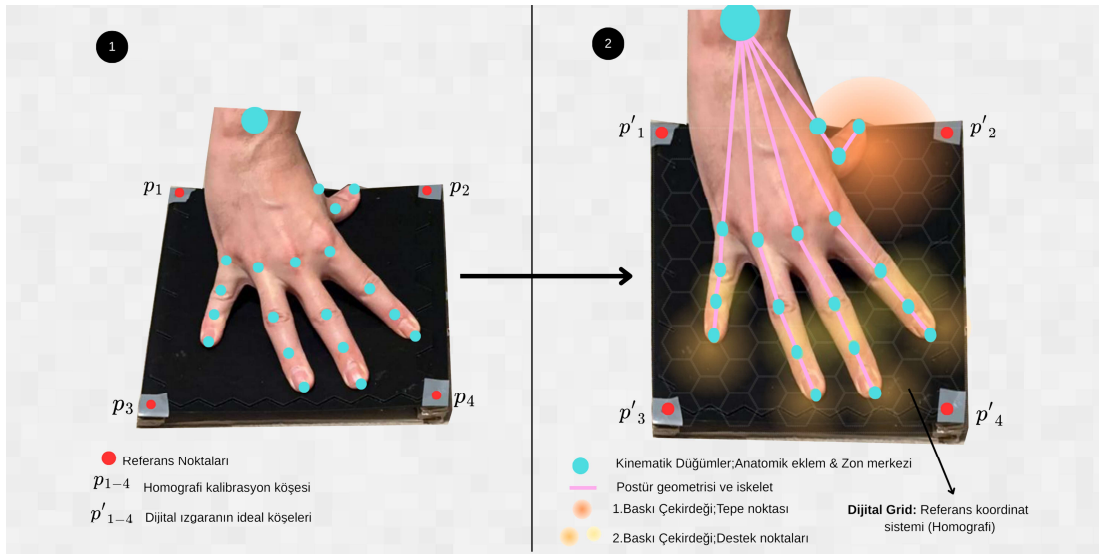
Bu çalışmada temas izlerinin dijital grid üzerinde doğru hücre kimliğine (Hex_{ID}) atanabilmesi amacıyla, görüntü düzleminde gözlemlenen temas konumu, panel düzlemindeki ideal koordinat sistemine taşınmaktadır. Fakat kamera, bazı durumlarda paneli tam karşı açıdan göremediği için han görüntüde perspektiften kaynaklı bozulmalar gözlenebilmektedir. Bu tarz senaryolarda, tek bir düzlem üzerindeki noktalar farklı bakış açıları üzerinden gözlenebilseler de iki görüntü düzlemi arasındaki örtüşme durumu, planar projektif dönüşüm (homografi) olarak tanımlanmaktadır [Hartley ve Zisserman, 2004].

Tez, homografi yaklaşımını bir görüntü işleme sisteminden ziyade ZMEK hattındaki iz katmanını üzerinde temas verilerinin, uzamsal süreklilik durumuna imkân veren bir

²⁷ Parsimoni (Parsimony) ilkesi açıklayıcılığın eşdeğer alternatifler arasında daha az varsayım ve daha düşük karmaşıklık içeren açıklamanın tercih edilmesi gerektiğini savunan bir yaklaşımdır. Tez bağlamında, izleme dilinin gereksiz gösterge çoğaltımıyla şişmesini önleyen bir seçim ilkesi olarak yararlanılmaktadır [Baker, 2016].

kalibrasyon önkoşulu olarak faydalanmaktadır. Bu çerçevede homografi, kod temelli gerçek zamanlı hesaplama işlemi öncesinde yöntemsel bir statik görsel doğrulama olarak kullanılmaktadır. **Şekil 4.4**'te sunulan deneyde, panelin fiziksel sınırlarını tanımlayan dört referans noktası (p_{1-4}), manuel rektifikasyon işlemiyle hedef düzlemdeki ideal karşılıklarına (p'_{1-4}) yerleştirilir. **Hartley ve Zisserman'ın [2004]** homografi tanımı izlenerek, kaynak görüntü düzlemindeki bir noktanın homojen koordinatları x ile hedef düzlemdeki karşılığının homojen koordinatları x' arasındaki ilişki Denklem 4.1 ile ifade edilir. Burada $\sim$ işareti, eşitliğin doğrudan değil ölçeğe kadar sağlandığını ifade etmektedir. Bu gösterim, homojen koordinatlarda projektif eşlemenin standart ifade yöntemidir.

$$x' \sim Hx \quad (4.1)$$



Şekil 4.4: Statik görüntü doğrultma ile homografi prensibi görsel doğrulaması.

Burada (1) numaralı görsel, açılı kamera perspektifiyle elde edilen ham görüntüyü ifade etmektedir. p_{1-4} noktaları, homografi işlemi için işlem öncesinde referans noktaları olarak belirlenmiştir. (2) numaralı görselde ise perspektif doğrultma işlemi doğrultusunda düzleme tekrar yerleştirilmiş homografi düzlemi gözlenmektedir. Burada çakıştırma işlemi aracılığıyla temas bölgelerinin hücre kimliği (Hex_{ID}) okunabilir bir hale getirilmektedir. Burada kinematik iskelet katmanı, elin postürünü ve jestin uzamsal yönelimini tanımlayarak eylem koşullarını belirginleştirir. Baskı

yoğunluğu katmanı ise temasın ankraj ve boşluk dağılımını; yoğunlaşmanın gerçekleştiği konum ve miktarı okunaklı bir hale getirir.

Ele alınan bu çok eksenli okuma tek bir mikro jestin, grid üzerinde eş zamanlı olarak farklı karar aileleriyle ilişkilenebileceğini göstermektedir. Örnekte başparmak altındaki yoğunlaşma, Güçlü Ağırlık (Strong Weight) niteliğini barındıran ankraj bölgesi (K3) olarak yorumlanabilmektedir. Avuç içi altındaki temas kesintileri, saha incelemesinde boşluklanma ve nefes alanlarını (K1) ifade etmektedir. Sonuç olarak Bölüm 5 ve 6’ya taşınacak üç temel çıktı şu şekilde ele alınabilmektedir:

- Mikro-jest sözlüğü (**Tablo 4.1**): Jest ailelerini temsili gösterge türleri üzerinden tanımlanarak okunabilir katmanın kavramsal çerçevesini kurulmuştur. Bölüm 5’te olay türü ve gösterge katmanına, Bölüm 6’da örnekleme, etiketleme ve metrik seçimi adımlarına çevrilmektedir.
- Efor, gösterge ve K1–K4 eşleme matrisi (**Tablo 4.2**): Hareket niteliklerinin göstergeler üzerinden okunarak karar ailelerini gerekçelendirme şekilleri sabitlenmiştir. Bölüm 5’te hipotez ve KPI gerekçelendirmesine, Bölüm 6’da yerel karar kurallarının kurulmasına temel sağlanmaktadır.
- ZMEK çeviri merdiveni (**Şekil 4.3**): Mikro jestten aşamasından itibaren kavramsal dönüşüm hattı görünür kılınmıştır. Bu dilin yöntemsel ve teknik aşamalara aktarım omurgasını kurmaktadır.

5. YÖNTEM

Yöntem kurgusu, kuramsal tartışma ve mikro jest sözlüğünün ZMEK protokolünü temellendirmesi etrafında şekillenmektedir. Bölüm 2’de tartışılan ritim, olay ve eşik kuşağı yaklaşımı, yöntemde pencereleme (Δt) ve eşik bandı ($P_{80} - P_{95}$) gibi karar araçları için kavramsal zemin sağlarken, Bölüm 3’te tanımlanan operatif karar yüzeyi mantığı, Üretken Piksel-hücre (Z) ölçeğindeki sistem kurgusunu gerekçelendirmektedir. Bölüm 4’te ele alınmış olan mikro jest sözlüğü, metrik ailelerinin (M) fonksiyonel karşılıkları ve bu verilerin olay rejimlerinde (E) karara bağlanmasında yorumlayıcı zemini oluşturmaktadır. Bu çerçevede, v1’de tek kanallı teknik işletim değerlendirmesi sağlanırken, Referans mimari (v2)’de ise çoklu kanal ve A/B karşılaştırmaları üzerinden değerlendirme planı kurgulanmaktadır. Netice itibarıyla üretken piksel, kavramsal bir öneriden ziyade sahadan gelen iz verilerini karar yüzeyine bağlayan tekrarlanabilir bir yöntem şeması olarak görünür kılınır.

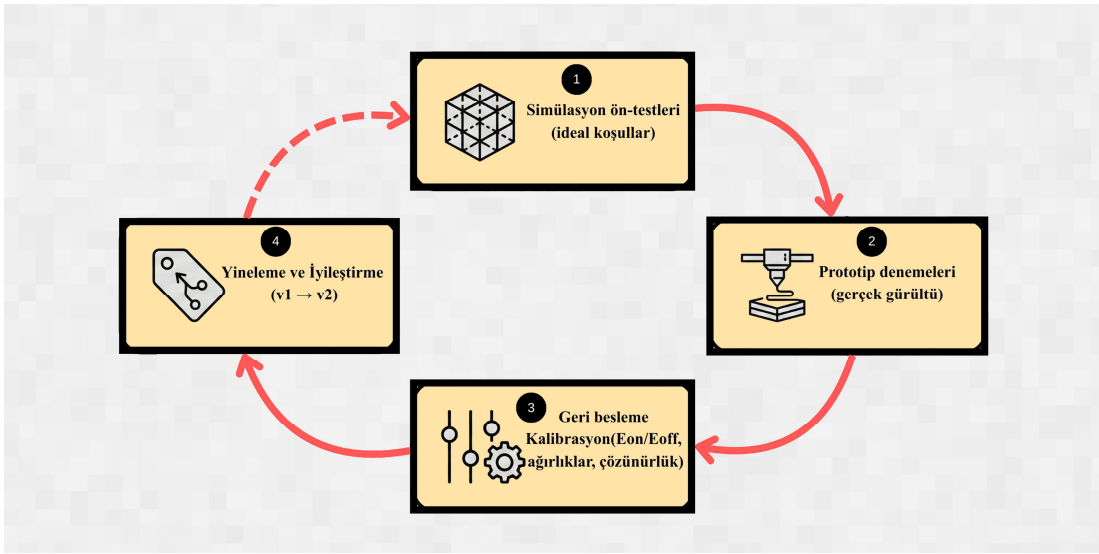
5.1. Araştırma Yaklaşımı, Araştırma Sorusu ve Hipotez Çerçevesi

Buradaki ana nokta, çalışmanın Tasarım Yoluyla Araştırma yaklaşımının etmen rolünü tanımlamaktır. Bu paralelde araştırma sorularının prototip üzerinde izlenebilir alt problemlere dönüşmesi açıklanarak, hipotezlerin KPI setleri²⁸ aracılığıyla izah edilmesi ve kapsamlı (v1 teknik doğrulama / v2 değerlendirme planı) kurgunun belirginleştirilmesi amaçlanır. Burada Bölüm 4’te kavramsal düzeyde kurulan ZMEK çeviri merdiveni, hücre birimi (Z) düzleminde işletilecek metrik ve eşik protokolüne bağlanmaktadır. Sayısal tanımlar ve parametrelerin standartlaştırılması Bölüm 6’da ele alınacaktır.

Araştırmada, mimarlıkta Tasarım Yoluyla Araştırma yaklaşımını benimsenmektedir. Bu yaklaşımca **Frayling’in [1993]** research through design çerçevesinden yararlanılarak, tasarımın tezde salt temsil üretiminden çok sınanabilir iddialar ve kanıt üretimi için epistemik bir araç olarak kullanılmasına olanak sağlanmaktadır. Bu

²⁸ KPI (Key Performance Indicator), bir amaca yönelik ilerlemenin izlenmesi için seçilen sınırlı sayıda kritik parametre setini tanımlamaktadır [OECD, 2023].

paralelde prototip, her iterasyonda sadece işlevsellik kontrolüne indirgenmeyerek, tasarım kararlarının veri öngörülerini altında üretilme sebeplerini görünür kılan bir düşünme ve eylem döngüsü olarak işletilir [Schön, 1983]. Sürecin tekrarlı strüktürü; simülasyon ön testlerini takip eden gerçek verilerle şekillenen prototip denemeleri ve sistemin sonuç çıktılarına eklemlenmesinden görevli geri besleme ve kalibrasyon basamakları üzerinde özetlenebilmektedir (Şekil 5.1). Bu bağlamda yöntem, tek seferlik denemeler üzerinden sınanan bir deney düzeneğinden ziyade beden, veri ve form ilişkisini tek tek regüle eden devingen bir öğrenme döngüsü olarak anlam kazanır.



Şekil 5.1: Tasarım yoluyla araştırma döngüsü.

Bu çerçevede Bölüm 1.2’de tanımlanmış olan araştırma sorusu, bu bölümde üretken piksel yaklaşımının bedensel mikro jestlerden türeyen göstergelerinin ZMEK hattı üzerinden K1–K4 karar ailelerine operatif olarak uyumluluğun doğrulanıp doğrulanmadığına odaklanmaktadır. Bu sebeple yöntem kurgusu, v1’de işlem doğrulaması ve referans mimaride değerlendirme planı ayrımıyla okunmaktadır.

Bölüm 1.2’de ele alınan Hipotezler burada, tekrardan ziyade her hipotezin eşleştiği KPI setiyle ve kapsam ekseninde (v1 teknik doğrulama, v2 değerlendirme planı) ele alındığını operasyonel olarak kesinleştirir.

- H1 (Akışkanlık): Üretken piksel yüzeyinin, sabit gridle karşılaştırıldığında, yön sürekliliğinin artırması ve ani yön kırılmalarını azalması öngörülmektedir. Bu hipotez, KPI-A kapsamında akış ve yön sürekliliği göstergeleriyle referans mimaride (v2) planlanan A/B karşılaştırması üzerinden değerlendirilecektir. v1

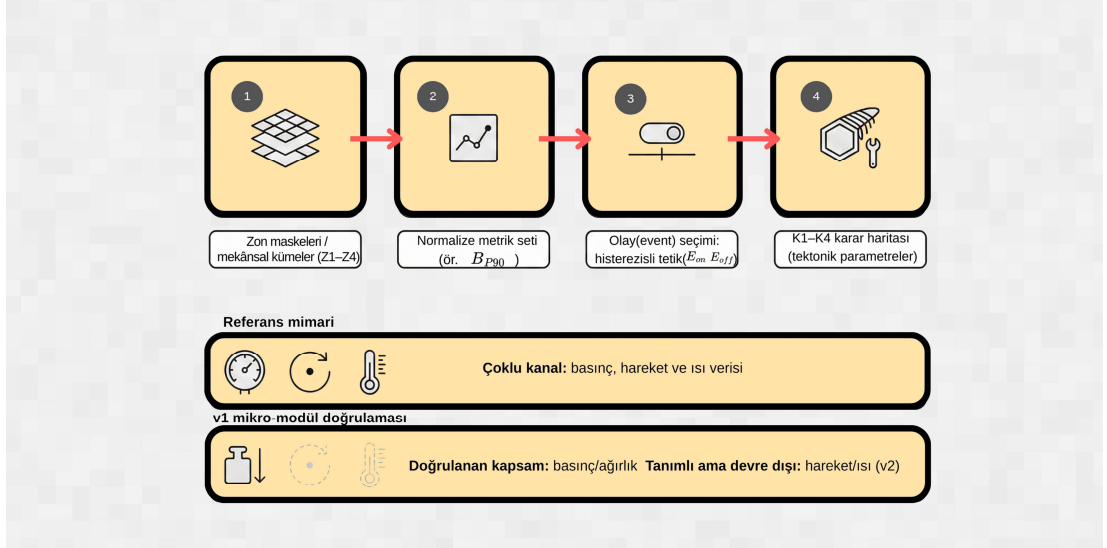
doğrulamasında hareket kanalı fiziksel olarak etkin kurguda yer almadığından dolayı H1, sadece basınç temelli süreklilik ve duraksama göstergeleri üzerinden sınırlı bağlam notu olarak raporlanacaktır.

- H2 (Algısal Konfor): Yüzeyin sabit gride kıyasla daha okunabilir, kullanıcıyı kamusal kullanım bağlamında teşvik edebilen ve kullanıcı tarafından konforlu algılanabilen bir yapıya dönüşmesi öngörülmektedir. H2, KPI-Q kapsamında referans mimaride planlanan anket ve algısal değerlendirme ile ele alınacak olup, v1 doğrulaması bu hipotez için değerlendirme üretmez sadece plan çerçevesi sunmaktadır.
- H3 (Yapısal ve Üretim Verim): Veriye dayalı çözünürlük kararlarının, yerel rijitlik durumlarının ve malzeme kullanımının üretim (montaj) süreçleri içerisinde ölçülebilir bir verime ulaşılması amaçlanmaktadır. Bu hipotez, KPI-T (bağlama bağlı olarak KPI-S) kapsamında, prototip üretimi, kurulum ve imalat parametreleri üzerinden v1 kapsamında izlenebilir sistemsel bir omurga olarak değerlendirme olanağı sağlamaktadır.

Hipotez, KPI ve kapsam eşleşmesi v1 doğrulaması **Tablo 5.2**'de detaylı ele alınmıştır. Referans mimari kapsamı ise **Tablo 5.3**'te özetlenmektedir.

5.2. Veri Kanalları ve ZMEK Protokolü (Z-M-E-K)

Bu tezde ZMEK protokolü, ham sensör akışını doğrudan forma çevirmekten ziyade söz konusu yapıda; hücresel bir matris üzerinde veri kaynaklı izlerin depolanması ve bu girdilerin rasyonel bir karar mekanizması oluşturacak şekilde işlenmesi temelli hesaplamalı bir çerçeve olarak ele alınmaktadır. Burada Z, hücre ölçeğinde adreslemeyi gösterirken, M ise pencereleme ve ölçekleme üzerinden metrik üretimini ifade etmektedir. Burada E, olay seçimini tanımlamakta, K ise karar ailelerine (K1–K4) tektonik (geometrik) eşleşme durumunu ifade etmektedir (**Şekil 5.2**). Bu akışın matematiksel izdüşümleri ve parametre standartlaştırılması Bölüm 6 'da ele alınır. Bu bağlamda doğrulama dili, prototip işletimi ile değerlendirme planını birbirinden ayıran bir kapsam notuyla okunmalıdır.



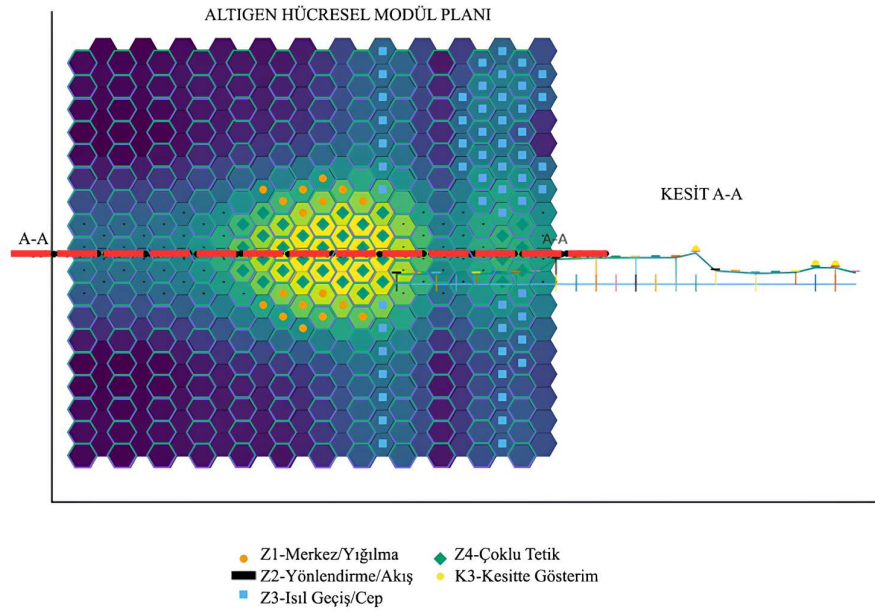
Şekil 5.2: ZMEK boru hattı ve kapsam ayrımı (referans mimari, v1 prototip).

5.2.1 Bölgesel Zon Maskeleri (Z1–Z4) ve Veri Kanalları

Bedenin yüzey ile kurduğu ilişki proje kurgusu bağlamında üç eksenle görünür hale gelmektedir. Öncelikle ilk eksenle beden ısısı (ΔT , $\parallel \nabla T \parallel$) ele alınmaktadır. Daha sonra bedenin yüzeye uyguladığı basınç ve ağırlık (P ve sapma göstergeleri) önem kazanmaktadır. Son olarak da hareket (hız ve yön örüntüleri) vasıtasıyla beden kaynaklı verilerin toplanması izlenebilmektedir. Kanallar, hücresel temsil ve komşuluk bağlamında değerlendirilmekte olup, iz bu sayede tekil değerlerden çok zaman içinde kalınlaşan bağlama göre ısı adası, yük adası ve akış şeridi gibi mekânsal kümeler olarak okunabilmektedir. Aynı ayrı bu üç kanaldan her biri, ZMEK hattı üzerinden olay diline eklenmesini sağlamak için ilk olarak; çalışma alanı üzerinde plan temelli zon maskeleri belirlenmektedir. M ve E adımları öncesinde yapılan zon maske hazırlık işlemleri kapsamında, dört bölge belirlenerek Z1–Z4 aralığında isimlendirilmektedir. Bu maskeler kanallardan gelen verileri sınıflandırmak yerine, başlangıçta tanımlanan bir bağlam haritası üzerinden üretim hattına katılırlar. Burada her zon, sahada potansiyel kullanım yoğunluğu ve etkileşim türlerine referansla, okuma türünün odaklanacağı örüntü niteliği üzerinden metodolojik bir çerçevede yapılandırılır.

Genel okuma rejimi bağlamında Z1, düğüm ve karar alanlarında anlık yığılma ve duraksama örüntülerini ifade etmektedir. Z2 ise yönlenme ve süregelen geçiş

durumlarını tanımlamaktadır. Z3 ise yakın karşılaşma özelinde temasın ve onu takip eden ısı katmanlaşma anlarını ifade etmektedir. Örneğin dar bir geçitte bedenlerin yan yana yaklaşarak birbirini sıyrarak geçtiği zorunlu geçiş anlarının; cep davranışı ve ısı birikim üretebildiği geçiş bantlarıdır. Burada cep davranışı, akışın kısa süreliğine yavaşlayıp birikerek mikro bekleme ve yanal kaçınma alanları üretmesini ifade etmektedir. Z4, düşük yoğunluklu ortamlarda görünmeyen katman niteliğindeki çoklu kanal verilerinin bir arada değerlendirilmesini temsil etmektedir. Bu rejim türü, basınç, ısı ve hareket kanallarının birlikte ya da ardışık şekilde eşik aşımı türetebildiği karma olay kümeleri olarak okunabilmesini sağlamaktadır. Bu genel okuma rejimleri, **Şekil 5.3**'teki zon maskelerinin referans mimari üzerinde duyarlılık hiyerarşisinin kurulmasını göstermek üzere örnek okumalarla belirginleşir.



Şekil 5.3: Referans mimari üzerinde zon maskeleri (Z1–Z4).

Bu bağlamda maskeleme mantığı, M ve E işletildiğinde zon maskesinin doğrudan bir çıktı üretmediğini göstermektedir. Aksine; hücre ölçeğinde hesaplanan metriklerin, çalışma çerçevesince bir eşik durumuna evrildiği ve çıktı sınıfını belirleyen bağlamsal bir ön çerçeve sağladığı gözlemlenir. Bu paralelde izler ve metrikler hücre ölçeğinde üretildikten sonra, ilgili hücrelere zon etiketi (Z_{label}) atanmakta ve bu sayede K eşlemesi, bu çıktı sınıfları üzerinden tetiklenmektedir. Dolayısıyla Z1–Z4, yüzeyi başlangıçta bölgeleyen plan temelli bir okuma yaklaşımını gösterirken, Z_{label} ise M ve E işletildikten sonra oluşan çıktı tipolojisini ifade etmektedir.

Sonuç olarak maskeleye sayesinde aynı sensör verisi üretildiği durumlarda bile, önceliklendirilmesi gereken metrik aileler (örn. ısı geçiş ve cep için $\nabla T \parallel$ ve T_{island}) yöntemsel zemine yerleştirilmiş olur. Burada ölçek ve notasyon ayrımı yöntemsel çerçevede ele alınmış olup, hücre indeksleme, zon etiketleme ve koordinat eşleme aşamalarının uygulama detayları Bölüm 6’da ele alınacaktır.

5.2.2. Metrik, Eşik ve Karar İşletimi: M-E-K

Z aşamasında belirlenen izler doğrudan tektonik karara bağlanmamaktadır. M katmanı, ham sensör çıktısını karşılaştırılabilir bir duruma getirmek için pencereleme ve ölçekleme uygular. Bu amaçla M, Bölüm 4’te tanımlanan temsili gösterge türlerinin anlamlı olduğu metrik ailesi metodolojisini ifade eder. Laban Efor yaklaşımı bu paralelde, nicel veriler ile analitik arasındaki kopukluğu azaltan bir yorumlayıcı araç olarak konumlanır (bkz. **Tablo 4.2**). Bu sayede metrik ailesi, temsili gösterge türleri üzerinden seçildikten itibaren aynı çekirdek eksenler ve türetilmiş ölçütlerle birlikte sınıflandırma aracılığıyla raporlanabilir bir ölçüm seti olarak görünür kılınır. Yöntem, ölçümsel güvenilirlik ve kapsam yönetimi için iki katmanlı bir eşleştirme önermektedir: çekirdek eksenler, ağırlık ve zaman üzerinden ele alınabilirken; türetilmiş indeksler uzam ve akış üzerinden tanımlanır. Çekirdek eksenler protokolün operasyonel omurgasını oluşturmaktadır. Türetilmiş indeksler ise kararların okunabilirliğini artıran bağlamsal katman görevini üstlenmektedirler. Bu eşleştirmenin kanallara ve metriklere dağılımı; metriklerin bu kapsamdaki niteliğine ve v1’de devrede olup olmama durumuna göre değerlendirilir (**Tablo 5.1**). Burada hedeflenen nokta, metrik seçimi ve eşikleme rejimini aynı mantıkta bir araya getirerek, kararın tekil ölçümden ziyade pencerelenmiş ve kararlı bir olay dili üzerinden üretilmesini belirgin kılmaktır.

Tablo 5.1: M katmanı: Laban efor analizi ve metrik eşleştirmesi.

Laban eksen	Kanal(lar)	Metrik(ler) (örnek)	Rol	v1'de var mı?
Ağırlık (Weight) (Hafif/Güçlü)	Basınç / Ağırlık	B_{P90}, B_{asym} (veya $B\sigma$), B_{car}	Çekirdek	E
Zaman (Time) (Sürdürülen/Ani)	Hareket (optik akış) + Basınç (temsili)	dur-kalk oranı, $\langle v \rangle$, δv	Çekirdek	H (v1'de basınç sürekliliğinden temsili)
Uzam (Space) (Doğrudan/Dolaylı)	Hareket (optik akış)	M_{turn} (yön kırılması)	Türetilmiş	H
Akış (Flow) (Sınırlı/Serbest)	Hareket + Basınç (bileşik)	süreklilik indeksi, mikro-kesilme sayısı, dur-kalk oranı	Türetilmiş	H (temsili/yorumlayıcı)

Tezde E (eşik) tekil bir değer olarak sabitlenmeyip, oturumlar arası ölçek kaymaları ve sensör gürültüsü altında aşırı tetikleme riskini azaltmak üzere bağlama göre normalize olan bir eşik bandı olarak işlemektedir. Eşik bandının sayısal ortamdaki oluşumu, oturum içi kararlılık koşulları ve veri uyumlaştırmayla eşleme adımları üzerinden Bölüm 6.4'te protokol olarak standart bir okumaya dönüştürülmektedir.

V1 doğrulaması E rejimini kuvvet kanalı üzerinden değerlendirirken, çoklu kanal eşzamanlı tetik ve ağırlıklandırma kurgusu değerlendirme planı olarak korunur. E katmanında oturum içi kararlılık, sadece eşik aşım durumlarından gözlenmemektedir. Ayrıca, $\Delta t_{on} / \Delta t_{off}$ süre koşullarıyla doğrulanan olay seçimi ve kapanış sonrası τ_{ref} ile kısa aralıklı çift tetik bastırma gibi koşullarla güçlendirilmektedir. E çıktısı, hücre için olay maskesi (0/1) ve olay özetlerini (başlangıç, bitiş, tepe, alan) üretmekte olup, bu çıktılar üzerinden K katmanı güncellenmektedir.

K katmanı, E'de ele alınan izlerin hücre ölçeğinde üretilebilir parametre setlerine çevrilmesinden sorumludur. (Porozite oranı, fin yönü ve yüksekliği, yerel rijitlik katsayısı, yerel çözünürlük). K1–K4 karar aileleri tanımı Bölüm 3.2.3'te tanımlanmış olup burada, kararların uygulamadaki karşılıkları ve v1 prototip ile referans mimari kapsamı gösterilmektedir.

K1 Porozite, ısı ve konfor, geçirgenlik gerektiren zonlarda boşluk oranı ayarını ifade etmektedir (v1). K2 Yönlü doku (fin), yüzeydeki tektoniğin okunabilmesi amacıyla akış doğrultusunun yön alanını ve yükseklik durumunu tanımlamaktadır. K2'nin çıktısı olan fin yön alanı (v_i) ve yükseklik haritası (h_{fin}), prototip güncelleme

katmanında örneklendirilerek Bölüm 6’da görsel üzerinden ele alınmaktadır. K3 Yerel rijitlik ise, yüksek yük ve tekrarlı temas zonlarında tespit edilen taşıyıcılık ve dayanım niteliklerinin kalınlaşma gereksinimini giderilmesini sağlar (v1). K4 Çözünürlük, veri yoğunluğunun yüksek olduğu zonlarda daha küçük hücre yapısı ile daha yüksek bir detay elde edilmesini sağlar. Sakin zonlarda ise hücrelerin seyrekleşmesini sağlayarak sistem döngüsünün sürdürülebilirliğini sağlamlaştırır.

Hücresel Çıktı, her hücre için üretim sınırları içinde kalan bir parametre vektörüdür. Komşuluk gradyanı, sensör verisindeki yerel gürültülerin yüzey üzerinde ani ve kopuk değişimlere neden olmasını engelleyerek, kararın yüzeye kademeli ve tutarlı bir şekilde yazılmasını sağlamaktadır. Bu sebeple ani sıçramalar yerine üretilebilir süreklilik, sistem verimi açısından istenen bir durumdur.

5.3. Doğrulama ve Değerlendirme İlkeleri (KPI)

Yöntemin başarı ölçütü, biçimsel yenilikten çok ölçülebilir performans hedefleri üzerinden değerlendirilmektedir. Tez kurgusunda bu değerlendirme iki düzlem üzerinden ele alınmaktadır:

V1 mikro modül doğrulaması: kuvvet kanalında, veri hattının çalıştığını ve histerezisli²⁹ olay seçimi aracılığıyla karar güncellemesinin kararlı bir şekilde işletilebildiğini gösterecek minimum nicel göstergeler üzerinden uygulanmıştır.

Referans mimari (v2 değerlendirme planı): çoklu kanal entegrasyonu üzerinden sabit grid (A) ve üretken piksel (B) arasında A/B karşılaştırmaları yapılması gelecek çalışma planı ve tasarım hedefi olarak belirlenmiştir.

KPI’ların üretildiği veri hattı ve parametrelerin standartlaştırılması Bölüm 6’da ele alınırken, v1 doğrulamasıyla bağlantılı çıktılar ve sınırlılıklar Bölüm 7’de raporlanacaktır. Bu ayırım doğrultusunda, v1’de raporlanan çekirdek KPI seti **Tablo 5.2**’de ele alınır, değerlendirme planı ise **Tablo 5.3**’te özetlenmektedir.

²⁹ Histerezis, bir sistemin açılma ve kapanma koşullarını iki farklı eşik üzerinden tanımlayarak eşik çevresindeki küçük dalgalanmaların devamlı durum değişimini tetiklemesini engelleyen kararlılık ilkesi olarak netleştirilir. İki eşikli Schmitt tetikleyici yaklaşımı bu prensibin klasik formülasyonu olarak ele alınmaktadır [Schmitt, 1938; Horowitz ve Hill, 2015].

Tablo 5.2: v1 minimum doğrulama seti (kuvvet).

KPI grubu	Gösterge	Ne doğrular?	Veri kaynağı	Çıktı
E-Kararlılık	Titreme/salınım oranı (birim zamanda $s(t)$ durum değişimi)	E_{on} / E_{off} histerezisinin eşik çevresindeki salınımı bastırıldığını	$s(t)$ olay maskesi	kararlılık skoru / karşılaştırmalı rapor
E-Süreklilik	$\Delta t_{on} / \Delta t_{off}$ süre koşulu ile olay onayı	Tekil anlık sıçrama yerine süreklilik kazanmış olay seçimini	Pencerelenmiş metrik ve $s(t)$	olay başla/bitir özetleri
M-Şiddet	B_{p90}	Yoğun temas tepe davranışının yakalanmasını	$P_{i(t)} \rightarrow$ yüzdelik dilim	Yoğunluk skoru
M-Dalgalanma	B_{var} / B_{σ}	Yük dalgalanmasının izlenmesini	$P_{i(t)}$	Dalgalanma skoru
M-Aktarım	B_{asym}	Sol-sağ yük aktarımı / dengesizlik	$P_L \ P_R$	Yön/asimetri skoru
Z/K tutarlılık	Komşuluk sonrası tutarlılık	Kararın tek hücrelik sıçrama yerine örüntüye bağlandığını	Komşuluk filtresi çıktısı	Tutarlılık/okunabilirlik notu
Sistem	Gecikme / güncelleme ritmi	Sistemin gerçek zamanlı işletilebilirliğini	Seri akış ve zaman damgası	Gecikme raporu

Tablo 5.3: Referans mimari genişletilmiş değerlendirme planı (basınç, hareket ve ısı).

KPI grubu	Örnek göstergeler	Veri kanalı	Kullanım	Durum
KPI-A (Akış)	$\langle v \rangle$, yön kırılması, akış sürekliliği	Optik akış	A/B ve akış zonu doğrulama	Planlanan (v2)
KPI-C (Termal/konfor)	$\ \nabla T\ $, T_{island} /tepe, ısı adası sürekliliği	IR/termal	A/B ve mikro-iklim karar doğrulama	Planlanan (v2)
KPI-S (Yapısal)	titreşim, rijitlik zonunda azalma	Ölçüm ve simülasyon	Kararların yapısal tutarlılığı	Kısmi/bağlama bağlı
KPI-T (Üretim)	parça/ek sayısı, tip çeşitliliği, montaj süresi	Üretime dönük geometrik çıktı seti	Üretilebilirlik maliyeti	Uygulanabilir
KPI-Q (Nitel)	okunabilirlik, güven, konfor, yön bulma	Anket	A/B algısal karşılaştırma	Planlanan; bu tezde uygulanmadı

Bu bağlamda, v1 doğrulamasının nicel KPI seti dört grup üzerinden ele alınmaktadır:

KPI-E (Eşik Kararlılığı), histerezisli olay seçiminin eşik çevresinde aç-kapa salınımı üretmeden çalışmasını doğrulamakla görevlidir (histerezisli olay seçimi ayrıntısı Bölüm 6.4). KPI-M (Yoğunluk ve aktarım özetleri), basınç ve ağırlık kanalından türetilen pencerelenmiş metriklerin, olay şiddeti ve dalgalanmasını ayırtılabildiğini gösterir. KPI-ZK (Komşuluk sonrası tutarlılık), tekil parlamaların karar üretimine dönüşmesini sınırlayan komşuluk doğrulamasının etkisini raporlar. KPI-SYS (İşletim

gecikmesi), işleme ve karar güncelleme döngüsünün deneysel olarak işletilebilir gecikme aralığında çalıştığının raporlanması işlemleri üzerinden tanımlanır.

Referans mimari (v2) nicel KPI setleri ise yedi grup üzerinden sınıflandırılabilir:

KPI-A (Akış), hız ve yön örüntülerinde süreklilik durumu yön kırılması göstergelerini tanımlar. KPI-C (Konfor ve Termal), ısı yoğunlaşma ve ısı adası gibi sürekliliği tanımlayan konfor göstergeleri değerlendirir. KPI-D (Hedef uyumu, sapma), çıktı dağılımının hedef geometriye yakınlığını ölçer. KPI-H (Heterojenlik), karar sınıflarının dağılım çeşitliliğini raporlar. KPI-T (İmalat), parça sayısı, montaj karmaşıklığı, tolerans ve yeniden işleme gibi maliyet göstergelerini değerlendirir. J (Amaç fonksiyonu), H, D ve T'nin ağırlıklı bileşimiyle tekil uygunluk skoru üretir. KPI-S (Yapısal, Dayanım), tekrarlı yük altında gözlemlenen sapma, yakınsama ve kararlılık durumunu değerlendirir. KPI-Q (Algısal), okunabilirlik, konfor ve yön bulma gibi anlık nitel ölçümleri (anket, gözlem) raporlar.

Sonuç olarak ele alınan KPI setleri, bir sonraki bölümde ele alınacak olan sistem mimarisi ve parametre standartlaştırmasının temelini oluşturarak, veri çıktılarının türetildiği konumlarla birlikte teknik olarak kararlı hale getirilmiştir.

6. PROTOTİP VE SİSTEM MİMARİSİ

Üretken Piksel arayüzü burada uygulama eksenine aktarılarak, teknik düzlem bağlamında sistem mimarisi, veri işleme aşamaları ve karar adımları tanımlanmaktadır. Burada hedeflenen, prototipin kurulum mantığını açıklayarak, sistemin işleyişini baştan sona açık bir şekilde belgelemek ve sonuç bölümünde ele alınacak olan bulguların teknik eksen kaynağını belirginleştirmektir.

Bu bağlamda, Bölüm 4'te temellendirilmiş olan mikro jest sözlüğü (bkz. **Tablo 4.1**) ve jestten temsili göstergeye evrilen hat boyunca; metrik tanımlamaları, eşik rejimi ve karar-tektik çıktı eşleşmesi kapsamında sistem döngüsüne teknik bir akış olarak entegre edilmektedir. Bu noktada ayrıca, ZMEK'in K çıktılarının dijital ikiz ekosisteminde tekabül ettiği değişkenler ayrıştırılarak, karar ve bu kararın üretim sınırlılıkları dahilinde oluşum gösteren müdahale katmanı arasındaki bağlantı kuvvetlendirilir.

Bölüm iki katman üzerinden şekil almaktadır: İlk adım FSR basınç sensörleri, IR termal kamera (sıcaklık haritası) araçları ve optik akış elemanlarının entegre olduğu referans mimaridir. V1 mikro modül doğrulaması ise tez kapsamı içerisinde kullanılan yük hücreleri üzerinden işletilmektedir. V1 prototip kontrolü açısından güvenilir ana kaynak olan kuvvet verisine odaklanılmış olup, bu sayede ZMEK kurgusu histerizisli eşikleme ve karar-tektik eşleşmenin sürdürülebilir ve istikrarlı bir şekilde çalışabileceği doğrulanmaktadır. Donanımsal olarak kamera ve sıcaklık haritalarının fiziksel kurulumu gerçekleştirilmediğinden ötürü, bu kanallara ilişkin aşamalar teorik bütünlüğü sağlamak amacıyla teknik akış ekseninde tanımlanmıştır ve sonraki prototip versiyonu olması planlan v2'ye bırakılmıştır. Dolayısıyla v1 çerçevesince akış ve termal okumalar, kuvvet kanalı üzerinden türetilen yığılma ve süreklilik göstergeleri aracılığıyla dolaylı olarak yorumlanabilmektedir. Bölüm boyunca kullanılan denklem ve veri bileşenleri okuma kılavuzluğu amacıyla **Tablo 6.1**'de özetlenmiştir.

Veri işleme aşamalarını açıklayan denklemler; literatüre yerleşmiş standart tanımları (pencereleme istatistikleri, histerizisli eşikleme, Shannon entropisi vb.) esas alınması, ZMEK kurgusunun işleyişi ve prototip arasındaki ilişkiyi iindeks ve bileşik ölçütler (B_{asym} vb.) yardımıyla tez kapsamında açıklanması olmak üzere iki amaca yöneliktir.

Ele alınan denklemlerin altına işlevlerinin daha rahat anlaşılması amacıyla Provenans (S, A, T) yerleştirilmiştir (S: standart kuramsal tanımı, A: literatür yaklaşımının tez akışına uyarlaması, T: tezde tanımlanan indeks).

Tablo 6.1: Denklem değişkenleri ve birimleri.

Sembol	Tanım	Tip / Aralık	Kapsam	İlgili Bölüm
Z, Z_i	Hücrel temsil	küme / skaler indeksli	v1+v2	6.1-6.4
T_{grad}, T_{grad}	Hücrede ısıl gradyan ve ısıl ada indeksi	skaler indeks 0-1	v2	6.3
$\Delta t, t$	Zaman / pencere boyu	sürekli / sabit	v1+v2	6.2, 6.3
$N(Z_i)$	i temsili hücrenin komşuluk kümesi	küme (1/2 halka)	v1+v2	6.2
$P_i(t)$	Basınç/kuvvet ham sinyali	zaman serisi	v1	6.2
$P_i^{norm}(t)$	Normalize edilmiş basınç	[0,1]	v1+v2	6.2
$B_{p90}(i)$	Pencere içinde 90. yüzdilik (basınç metriği)	[0,1]	v1	6.3
$B_{var}(i)$	Pencere içi varyans	≥ 0	v1	6.3
$B_{asym}(i)$	Denge metriği	[0,1] (tanımlı)	v1	6.3
$[P80, P95]$	Eşik bandı (yüzdelik temelli)	aralık	v1+v2	6.4
E_{on}, E_{off}	Histerezis açma/kapama eşikleri	[0,1]	v1+v2	6.4
$event_i$	Olay bayrağı (eşiklemeyle seçilen durum)	{0,1}	v1+v2	6.4
$K1 - K4$	Karar aileleri	sınıf / repertuar	v1+v2	6.4, 6.6
θ_i	Hücre parametre vektörü (porozite vb.)	vektör	v1+v2	6.6
H_{hom}	Homografi matrisi(görüntü $\rightarrow$ plan düzlemi)	3x3 matris	v2	6.2
H, D, T	Entropi, hedef uyumu, üretim maliyeti KPI	skaler	v2	6.7
J	Amaç fonksiyonu; $J = \alpha H + \beta D - \gamma T$	skaler	v2	6.7
α, β, γ	KPI ağırlıkları	≥ 0	v2	6.7
M_{speed}, M_{turn}	Hücrede hareket hızı ve yön değişimi	skaler, remap 0-1	v2	6.3

Bu noktada, Bölüm 5.3'te tanımlanmış olan doğrulama ve değerlendirme rejimini operasyonel olarak bir araya getirilmektedir. V1 prototip çerçevesinde KPI-E, KPI-M, KPI-ZK ve KPI-SYS değerlendirme ölçütleriyle, çıktıların beslendiği veri akış kanalları ortaya konmaktadır. Referans mimari kapsamında ise KPI-T KPI-D, KPI-H ve J amaç fonksiyonunun normalizasyon aşamalarının metodolojik çerçevesi açıklanmaktadır.

6.1. Sistem Mimarisi ve Kurulum Özeti

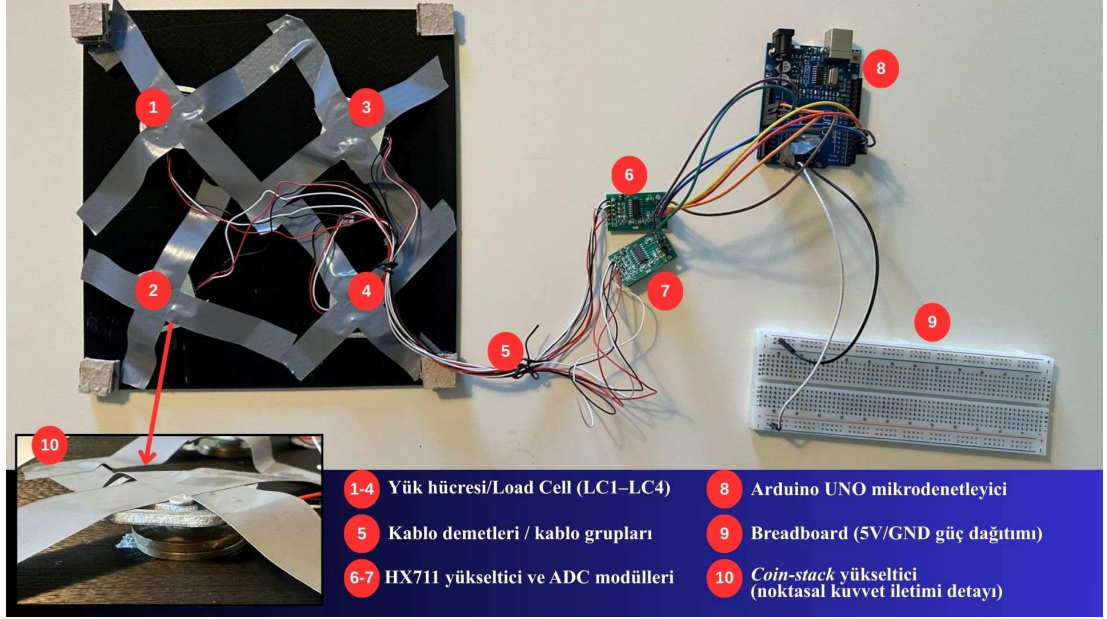
Sistem mimarisi çerçevesinde form arayışı, hücredeki değerin çoğu zaman tek başına verisel anlam ifade etmemesinin sonucu olarak işletim gerekçesine dayanmaktadır. Komşuluk durumu aracılığıyla hücreler, örüntüye dayalı bir rejim üzerinden okunabilmektedir. Bu sebeple komşuluk **Newman'ın [2010]** bahsettiği gibi yumuşatma yaklaşımı temelli bir rejim olup, yerel sapmaların bastırılmasıyla yoğunlaşmaların korunmasını sağlayan bir işleyişe sahiptir. Kümelenme ve

maskeleme aracılığıyla da hücreler zon olarak okunabilir hale getirilmektedir. Grid geometrik bir örgü rolünden, verinin mekâna içkin çalıştığı bir hesaplama topolojisi olarak düşünülebilmektedir **[Kitchin ve Dodge, 2011]**. Tez kurgusunda Üretken Piksel arayüzü hücre (Z) ile temsil edilmekte olup, teknik anlatım boyunca tekrar üretmemek açısından bu şekilde kullanılacaktır.

Sistem kurgusu, yazılım ve donanım katmanları üzerinde şekillenmektedir. Rhinoceros 8 ve Grasshopper ortamı hücresel Z'yi grid üzerinde üretmekte olup, sensör akışının denetlenmesini sağlayarak ZMEK hattının hesaplama arayüzünü oluşturmaktadır. Kangaroo Physics eklentisi ise eyleyici katman niteliğinde, K çıktılarının dijital ikiz ekosisteminde parametre ve kısıt güncellemelerine dönüştürüldüğü bir ortam özelliği göstermektedir. Galapagos evrimsel çözücü arayüzü, çok boyutlu ayar ve değerlendirme aşamalarında KPI ölçütlerinin amaç fonksiyonuyla bağlanmasını sağlamaktadır. Donanım katmanı olarak Arduino tabanlı mikrodenetleyici geliştirme kartı ve HX711³⁰ döngülerinden destek alınarak, yük sinyallerinden veri akışı üretimi gerçekleştirilir. Yüzey ve sensör arasındaki noktasal yük iletim performansını arttırmak amacıyla imalat sırasında coin-stack³¹ yönteminde yararlanılmıştır. Ayrıca v1 doğrulamasında mikro modül, yük dağılımının bölgesel olarak okunabilmesi amacıyla yüzeyde dört sensör alanı üzerinden kurgulanmıştır (**Şekil 6.1**).

³⁰ HX711, köprü tip yük hücresi çıkışını doğrudan örneklemek üzere tasarlanmış 24-bit tabanlı bir analogdan sayısal dönüştürücüdür (ADC). Dahili osilatörle çalışırken RATE pini üzerinden tipik olarak 10 SPS (RATE=0) veya 80 SPS (RATE=1) çıkış veri hızına ayarlanabilmektedir **[Avia Semiconductor, t.y.]**.

³¹ Coin-stack yöntemi bu tezde, yük hücresi ile yüzey arasında rijit ve standart kalınlıklı bir yükseltici oluşturarak kuvvet iletimini daha tekrarlanabilir kılmak amacıyla, pratikte metal disklerin üst üste dizilmesiyle uygulanan bir çözümü ifade etmektedir **[WEB 2, 2026]**.



Şekil 6.1: v1 mikro modülün fiziksel kurulumu.

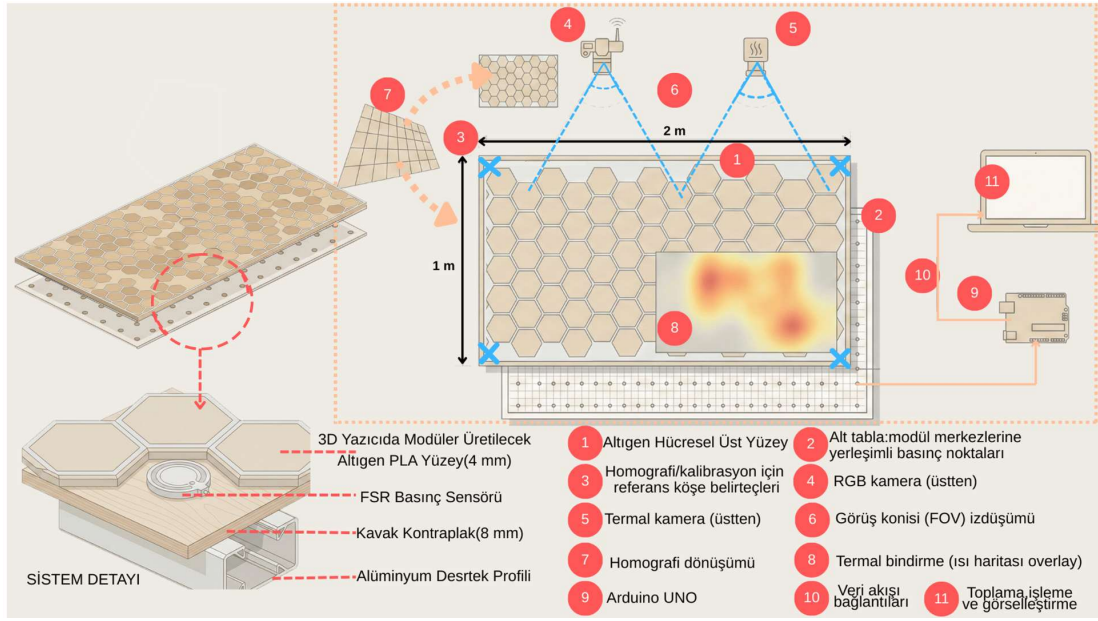
Uygulama sürecinde, v1 ve referans mimari bağlamında operatif bir işletim dili kurabilmek ve komşuluk rejiminin karşılık geldiği işlemi belirginleştirmek temel teşkil etmektedir. Altıgen formun barındırdığı 6'lı komşuluk yapısının sağlamış olduğu izotropik düzlem, karar yayılımının hücre özelindeki tutarlılığı üzerinden uygulanabilir bir parametre olarak temin edilmektedir. Her hücre (Z), yerel rijitlik, porozite ve fin³² gibi tektonik ayarlara tekabül eden parametrik operatörlerle eşleştirilmektedir. Bu vasıtaıyla yüzey, ZMEK kararları neticesinde geometri güncellemeleri ve sınırlılıklar üzerinden tanımlanabilen yerinde ayarlanabilir bir doku niteliği kazanır.

Teknik temsil birimi olan Z burada, $Z_{ID}(\text{Hex}_{ID})$ etiketleri aracılığıyla konumlandırılmaktadır. Z_1-Z_4 ise yöntem bölümünde tanımlanmış olan zon maskelerini ifade etmektedir. Zon maskeleri, Z_{ID} ve hücre leği üzerinden türetilen Z_{label} etiketleriyle aynı anlamı ifade etmemektedir. Burada referans mimari ve v1 prototip kurulumunun donanım ve yazılım detayları aynı ereve altında özetlenmektedir. Referans mimari eksen, 2×1 m ebatlarında modüler üretime elverişli

³² çalışmada fin (kanatçık), Mimarlık literatüründe genellikle dikey ya da yatay güneş kırıcı elemanları tanımlamak için kullanılırken, tezde hücre üzerinde yönlü etki üretebilen ince, uzatılmış tektonik elemanları temsil etmek amacıyla kullanılır.

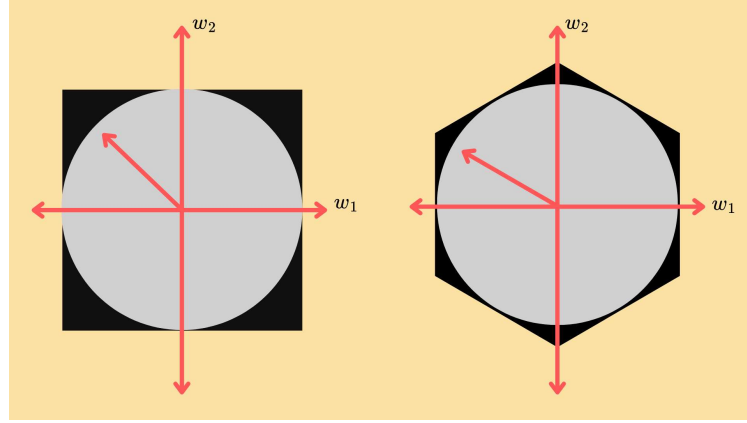
panel yüzeyi kurgusu üzerinden planlanmış olup, 20×20 cm boyutlarındaki 10×5 adet alt modüle ayrılmıştır.

V1 prototipinde ise aynı kurgu 20×20 cm’lik bir mikro modüle indirgenerek üretilmiş olup, dört ana ölçüm noktası aracılığıyla ZMEK mekanizması doğrulanmıştır. V1’de kuvvet kanalı odağında veri akışı sağlanırken; referans mimari kapsamında ısı, hareket ve basınç kanallarının bütünleşik olarak bir düzlem üzerinde değerlendirilmesi amacıyla hizalama işlemi yapılandırılmıştır (Şekil 6.2).



Şekil 6.2: Referans mimari diyagramı.

Dairesel bant ve sınırlı sinyallerin örneklenmesinde altıgen kafesin kare gridle karşılaştırıldığında yaklaşık %13,4 daha verimli olduğu **Peterson ve Middleton [1962]** tarafından gösterilmiştir. Bu bağlamda altıgen formun sağladığı komşuluk ilişkisi, karar aşamasında tekil ani veri sıçramaların önleyip, tüm yönlere eşit dağılım gösteren yumuşatılmış gradyan niteliği göstermektedir **Sahr'ın [2011]** ele aldığı dairesellik özelliği, bu noktada mekânsal eylem kurgusunun tek bir hücrede sınırlandırılmasını önleyerek kararın süregelen bir dokuya evrilmesine aracı olmaktadır (Şekil 6.3).



Şekil 6.3: Dairesel bant-sınırlı bir fonksiyonun kare ve altıgen örneklem hücrelerine oturtulması. [Middleton ve Sivaswamy, 2005]’den uyarlanmıştır.

6.2. Veri Toplama ve İşleme Hattı

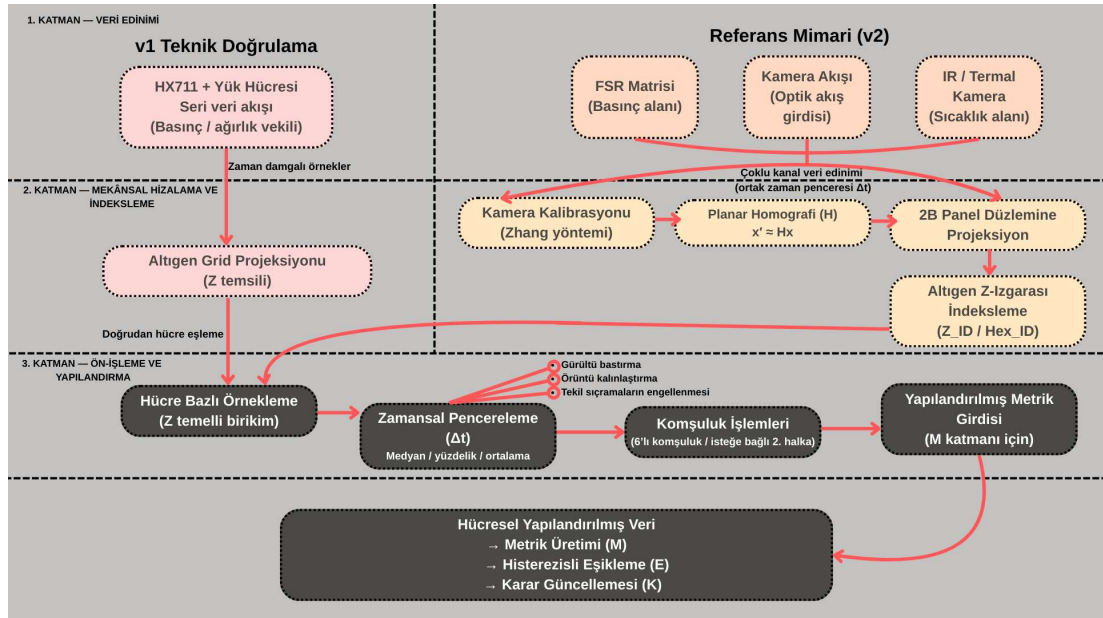
Beden jesti kaynaklı izler işleme hattı üzerinden, ZMEK akışının metrik aşamalarına aktarılmaktadır. V1 doğrulama aşaması, yük hücre ölçümleri ve HX711 veri döngüsünün, hücre (Z) üzerinden projeksiyonu aracılığıyla zaman penceresi istatistikleriyle gerçekleştirilmektedir. Referans mimari çerçevesinde ise aynı temsil katmanını olan Z; optik akış, FSR matrisi ve IR ısı haritalarının homografi ve kalibrasyon işlemleri vasıtasıyla ortak düzleme taşınması üzerinden ele alınmaktadır. Bu bağlamda veri hattı üç aşamalı hizalama ve yapılandırma adımları türetilmektedir:

Veri edinimi (zaman hızası): HX711 ile okunan seri akış, kuvvet eşdeğeri sinyali zaman işaretleriyle birlikte sisteme aktarılır. Referans mimaride FSR matrisi, kamera akışı ve IR termal düzlemleri aynı zaman penceresi üzerinden sisteme kaydedilmektedir. Kamera akışı saniyede 30 kare hıza sahip görüntülerden oluşmakta, her kare ilgili kimlik ile etiketlenmektedir. IR katmanını ise işaretlenmiş zaman duraklarında yüzey sıcaklık alanını °C cinsinden belirlenmektedir.

Mekânsal hizalama (kalibrasyon ve homografi): Birden fazla sensör kanalının aynı somut alanı temsil etmesine olanak sağlayan mekânsal hizalama yaklaşımı benimsenir. Görüntü kalibrasyonunda **Zhang [2000]** yaklaşımı yöntemsel referans olarak belirlenmekte olup, distorsiyon oranı azaltılmış görüntü düzlemi ve prototipin dünya koordinat sistemi arasındaki eşleştirmesi ise çoklu görüş geometrisi üzerinden

literatürde standart olan homografi formülasyonu aracılığıyla tanımlama yapılmaktadır [Hartley ve Zisserman, 2004]. Bu paralelde homografi, aynı düzlem üzerindeki bir noktanın kaynak görüntüdeki konumu ile hedef düzlemdeki konumu arasında, homojen koordinatlarda tekil olmayan bir 3×3 dönüşüm matrisi H üzerinden ilişki kurulmasıdır (ayrıntı için bkz. Bölüm 4.4). Bu ilişkinin etki alanı ise ölçek parametrelili bir çerçeve içinde tanımlanır. Burada dönüştürülmüş düzlemle oluşan noktalar, grid üzerinde işlemi ilgilendiren ilgili hücrelerin etiketlenmesiyle atanmaktadır (Z_{ID} , Hex_{ID}).

Örnekleme ve ön işleme (hücresel yapılandırma): Prototip yüzey alanının koordinatları, hücrelerden oluşan bir grid üzerinde örneklendirilir. İşlenmemiş FSR, sıcaklık ve optik akış verileri ilgili hücreler üzerine yansıtılmakta; hücreler için belirlenmiş medyan, pencere içi ortalama ve diğer istatistik yaklaşımlarıyla hesaplanabilmektedir. Bu sayede nitelik belirlenmesi aşamasında hücre özelindeki zaman pencereleri olarak tanımlanmış veri kümesi elde edilmektedir. Bölüm 3.1.3'te ele alınmış olan örnekleme, pencereleme ve özetleme durumları işletim karşılığı üzerinden somutlaştırılmıştır (Şekil 6.4).



Şekil 6.4: Veri toplama ve işleme hattı şeması.

Hücrelerin komşuluk kümesini tanımlamak amacıyla kullanılan $N(Z_i)$, ileriki bölümlerde ele alınacak olan komşuluk yayılım fonksiyonlarının işleyeceği topoloji ortamını sağlamaktadır. Referans mimari kapsamında hareket kanalı türevi yön alanı

görünür hale geldiğinde, komşuluk ve yayılım akışını bozmayacak şekilde yön duyarlı olarak tekrar tanımlanması mümkün hale gelmektedir.

6.3. Özellik Çıkarımı ve Sayısallaştırma (Metrik, M)

Bölüm 4'te nitel düzlemde tartışmaya açılan ısı, basınç ve hareket kanalları burada, hücresel temsil Z-grid'de hücre ve komşuluk yayılımı üzerinden sayısal verilere dönüşüm aşamasını operasyonel duruma getirmektedir. Verinin aykırı değer ve gürültü barındırdığı düzeneklerde, çıkan özetlerdeki sonuçların yanıltıcı olabileceği kuramsal okumalarda açıkça gözlemlenmiştir [Huber ve Ronchetti, 2009]. Bu sebeple tezde, ölçek ve konum hesaplamaları yüzdelik ve medyan üzerinden sağlam özetleme (istatistik) aracılığıyla kurularak karar istikrarının artırılması amaçlanmaktadır.

Laban Efor okuması kapsamında dört eksenden sadece ikisine odaklanılarak; metrik sınıfları temsili göstergelerin (proxy) nicel karşılıkları olarak yorumlanmıştır. V1 prototip sistemi doğrulamasında ağırlık temsili göstergesi üzerinden yük ve şiddet göstergeleri B_{p90} , $B_{var}(B_{\sigma})$ ve B_{asym} 'dan yararlanılarak metrik setler tanımlanmıştır. Bu metrikler KPI-M değerlendirme kapsamında v1 doğrulamasını açıklamak amacıyla kullanacak göstergelerdir. İkinci olarak da zaman temsili göstergeleri ise hareket kanalı v1'de var olmadığından basınç gösterge vekili olarak konaklama süresi ³³(dwell) ve pencereleme gibi türevlerden yararlanılmıştır. Diğer iki seksen olan uzam ve akış temsili göstergeleri ise doğrudan ölçülmediğinde yorum seviyesinde sınırlı kalmışlardır.

Referans mimaride kurgu sırasında bu basınç metrikleriyle birlikte, uzam temsili göstergesi olarak yön sapması ve rota geometrisi üzerinden M_{speed} ve M_{turn} metriklerinden yararlanılması amaçlanmaktadır. Isıl özellikler için ise T_{grad} ve T_{island} metriklerinin kullanılması planlanmıştır.

Hareket kanalı için ise optik akış vektörü kullanılır. Ayrıca zaman temsili göstergeleri, duraksama, konaklama süresi ve pencereleme türevleri üzerinden çevrilerek kullanılır. Akış temsili göstergeleri ise doğrudan ölçülebilen değerlerden ziyade süreklilik ve dur-

³³ Konaklama süresi (dwell time), bir olayın belirli bir hücre içinde geçirmiş olduğu süreyi ifade etmektedir. Literatürde, olayın başlangıç ve bitiş anları arasındaki süre farkını ifade etmek amacıyla kullanılmaktadır [Montoliu vd., 2010].

kalk gibi örüntüler üzerinden türetilen bileşik indeksleri ifade etmektedir. Eşik durumunun okunaklılığını arttırarak yorum düzeyinde destekleyici olurlar. Temas yayılımı ve dağılım temsili göstergeleri ise gradyan parametreleri ve komşuluk sapması üzerinde ele alınmaktadır (bkz. **Tablo 4.1 ve 4.2**).

Zon etiketlerinin (Z_{label}) yönlendirmesiyle karar aileleri seçilir. Böylece geçirgenlik, sertlik, yönlenme ve çözünürlük parametreleri güncellenebilmektedir. Döngü içinde doku, küçük ayar durumlarının birikimiyle yüzeyin ritmini yeniden kalibre etmektedir. Bu eşlemenin sistemde etkinleşmesi için, karar üretimine girdi veren izlerin önce hücre ölçeğinde karşılaştırılabilir ve kararlı bir metrik temsile dönüşmesi gerekmektedir.

Tüm kanallarda birincil zaman serilerini bağıntılı hale getirmek ve gürültü etkisini azaltmak amacıyla veriler, sürekli güncellenen (kayan) bir zaman penceresi içinde özetlenmektedir. Her hücre i için pencere $[t - \Delta t, t]$ boyunca seçilen istatistiklerden yararlanılarak hücreye ait temsili değer, $\bar{P}_i(t)$ üzerinden tanımlanmaktadır (Denklem 6.1). Aykırı değerlere karşı sistem dayanımı avantajından kaynaklı seçilen medyan, izin anlık bir ölçümden ziyade zaman içinde kalınlaşan birikim durumu olarak okunmasına imkân sağlamaktadır. Bu yaklaşımla metrikler, jestin değişim gösteren süreklilik örüntüsüyle uyumlanabilirler.

V1 doğrulamasında i indisi, hücre (Z)'ye alternatif olarak dört yük hücresinin temsil ettiği bölgesel ölçüm alanını temsil etmekte olup, referans mimaride ise i indisi doğrudan hücreyi tanımlamaktadır. Δt pencere uzunluğunu, $P_i(\tau)$ hücre i 'nin τ anındaki ölçümünü tanımlamaktadır.

$$\bar{P}_i(t) = \text{median}_{\tau \in [t - \Delta t, t]} P_i(\tau) / \bar{P}_i(t) = \frac{1}{\Delta t} \int_{t - \Delta t}^t P_i(\tau) d\tau \quad (6.1)$$

Provenans-A: Zaman penceresi kapsamında özetleme ilkesi literatüre dayanmaktadır. Tezde iz birikimi okumasını uygulamak üzere ZMEK akışına uyarlanmıştır [**Oppenheim ve Schafer, 2010; Huber ve Ronchetti, 2009**].

Metrik tasarımı, eşikleme düzlemine taşınacak olan niyet ve yoğunluk bilgilerinin üst yüzdelik P90 olarak belirlenip, medyan temelli özetlerle aktarılması tercih edilmiştir. Bu sebeple üst dilim yüzdelik özetinde yer alan P90, gürültü miktarını

azaltan fakat kasıtlı olarak uygulanan etkileşim yoğunluğunu güvenli bir şekilde taşımaktadır [Huber ve Ronchetti, 2009]. Basınç kanalı üzerinden P80–P95 bant aralığında eşik değerlerinin belirlenmesi, eşiğin dinamik olarak standartlaşan bir tolerans aralığı olarak okunmasını sağlamaktadır. Bu sayede aşırı tetiklenme gibi problemlerin önüne geçilebilmektedir. B_{p90} , hücre i 'nin $[t-\Delta t, t]$ penceresindeki basınç örneklerini üzerinden yüzde 90 yüzdelik operatörü olarak hesaplanma işlemlerini tanımlamaktadır (Denklem 6.2).

$$B_{p90,i}(t) = Q_{0.90}(P_i(\tau) \mid \tau \in [t - \Delta t, t]) \quad (6.2)$$

Provenans-S: Yüzdelik tanımı, istatistik literatüründe standart bir ölçüt olarak kabul edilmektedir. Tezde basınç tepe davranışını istatistiksel ekseninde dirençli bir şekilde modellemek amacıyla kullanılmıştır [Huber ve Ronchetti, 2009; Tukey, 1977]. Burada $Q_{0.90}(\cdot)$ pencere içi örneklemin yüzde 90 yüzdelik operatörünü temsil etmektedir.

Ayrıca basınç dağılımı kapsamında sapma göstergesi hesaplanabilmektedir. Bu noktada sapma, yer değiştirme ve yük altındaki sehim örüntüsüne (defleksiyon) yönelik temsili bir gösterge olarak konumlandırılır. Araştırma çerçevesinde sapma, hücre i için $[t-\Delta t, t]$ penceresinde ölçülen basınç örneklerinin karekökü (varyansı) olan standart sapma ile tanımlanmaktadır. Bu sayede yük düzeyi ve yükün pencere içinde dalgalanma miktarı birlikte gözlemlenebilmektedir (Denklem 6.3).

$$B_{var,i}(t) = \text{Var} (P_i(\tau) \mid \tau \in [t - \Delta t, t]) \text{ veya } B_{\sigma,i}(t) = \sqrt{B_{var,i}(t)} \quad (6.3)$$

Provenans-S: Varyans ve standart sapma tanımı standarttır. Tezde pencere içi dalgalanmayı temsil eden ikinci bileşen olarak kullanılmaktadır [Bendat ve Piersol, 2010]. Burada $B_{var,i}$ pencere içi dalgalanmayı ifade ederken, $B_{\sigma,i}$ ise aynı dalgalanmanın standart sapma cinsinden ölçeğini göstermektedir.

Yükün büyüklük ve dalgalanma hesaplanmasına ilaveten, yük aktarımının yönünü saptamak amacıyla sol ve sağ sensör grupları arasındaki asimetrik dağılım, ayrık bir çerçevede ele alınmıştır (Denklem 6.4).

$$B_{asym}(t) = \frac{|P_L(t) - P_R(t)|}{P_L(t) + P_R(t) + \epsilon} \quad (6.4)$$

Provenans-T: B_{asym} , sol ve sağ yük aktarımını tekil bir indeksle izlenmesi amacıyla ölçüt olarak belirlenmiştir. Sayısal olarak zon ayrımını ifade etmektir. Burada P_L sol sensörler toplamını temsil ederken, P_R ise sağ sensörler toplamını göstermektedir. ϵ , hesaplama sürecinde oluşabilecek tanımsızlıkları önleyen koruyucu bir katsayı olarak kullanılmaktadır.

Bu metrik sayesinde, sol ve sağ zon başta olmak üzere konum ayrımının sayısal eşdeğeri üretilmektedir. Ayrıyeten basınç kanalında şiddet, dalgalanma ve aktarımın eş zamanlı olarak tespit edilmesi sayesinde de zon etiketleme için gerekli analitik çözünürlük sağlanmış olur. Bu çekirdek metrikler v1 doğrulamasında basınç kanalından türetilirken, referans mimaride (v2) metrik uzayı hareket ve ısı kanallarıyla genişletilerek aynı işletim mantığı korunacaktır.

Hareket kanalı bağlamında optik akış vektörlerinin tanımlanması amacıyla iki yöntemsel referanstan destek alınmıştır. **Horn ve Schunck'ın [1981]** Global pürüzsüzlük varsayımına dayanan yaklaşımı ve **Lucas ve Kanade'in [1981]** yerel eşleştirme mantığından v2 üzerinden kullanılması planlanan hız ve yön kırılması metrik tanımlarında yararlanılmıştır. Her tanımlı hücre ve pencere üzerinden optik akış norm özetlemeleri aracılığıyla hız büyüklüğü temsil edilebilmektedir. Bu değer, bedenin o bölge boyunca yer değiştirme hızına dair fonksiyonel bir eşleşme üretmektedir. Bu noktada yön kırılması, ardışık pencereler arasındaki akış doğrultusunun gösterdiği açısal sapma olarak tanımlanmakta olup, dönme ve geri dönüş durumlarının yoğunlaştığı alanları belirlemek için faydacıl bir göstergedir.

Isı kanalı üzerinden ise komşuluk sapması ve sıcaklık gradyanı hesaplanabilmektedir. Burada gradyan hücrelerin sıcaklık durumunu, komşu oldukları hücrelerle kıyaslı bir şekilde ölçerek ısınma ve soğuma yönünün belirlenmesini tanımlamaktadır. Komşuluk

sapması, tanımlı hücrenin sıcaklık durumunun çevresine kıyasla ne kadar değiştiğinin ölçülmesini ifade etmektedir. Bu ekseninde Isıl ada (T_{island}) durumunun görünür kılınması amacıyla gürültünün azaltılması Gaussian ile yumuşatma işlemiyle gerçekleştirilmiş, daha sonra ise Laplasyen temelli türev operatörleri aracılığıyla yerel tepe ve çukur bölgelerini görünür hale getirilmiştir [Marr ve Hildreth, 1980]. Burada uygulama seviyesinde kullanılan filtreler ve parametre açıklamaları, literatüre yerleşmiş kaynaklardan yararlanılarak oluşturulmuştur [Gonzalez ve Woods, 2018].

Bu kanallardan türetilen metrikler, E ve oturumlar arası karşılaştırma için ortak bir ölçek üzerinden tanımlanmaları gerektiğinden, son adımda medyan ve çeyrekler açıklığına (IQR) dayalı sağlam ölçeklemeyle 0–1 uzayına taşınmaktadır (Denklem 6.5).

$$x^* = \frac{x - \text{median}(x)}{\text{IQR}(x) + \epsilon}; x_{norm} = \text{clip}\left(\frac{1}{2}(x^* + 1), 0, 1\right) \quad (6.5)$$

Provenans-A: Medyan ve IQR tabanlı sağlam ölçekleme yaklaşımları, kanıtlanmış metodoloji olarak yararlanılmıştır. Tezde metrikler, 0–1 uzayında analitik bir kıyaslama dili oluşturmak amacıyla uygulama katmanına aktarılmıştır [Tukey, 1977; Huber ve Ronchetti, 2009].

6.4. Histerezisli Eşikleme ve Uyarlama (Eşik, E)

Burada P80–P95 bant mantığı ve histerezis yaklaşımı, girdiden çıktıya tüm aşamaları kapsayacak şekilde hesaplanabilir bir eşik rejimi olarak algoritmik bir temele oturtulur. Hedeflenen ana nokta, gürültülü ve dalgalı sensör sinyallerine karşın hem kararlı olay seçimi üretebilen hem de farklı koşullar altında sürüklenme kaynaklı hataları minimuma indirgeyen bütünsel bir eşikleme protokolü yapılandırmaktır.

Pencereleme burada, eşik kararının gecikme ve titreme problemlerini operasyonel olarak çözümlmek amacıyla gözlem ölçeği olarak seçilmiştir [Oppenheim ve Schafer, 2010]. Zaman olgusunun pencere üzerinden bu şekilde analiz döngüsüne girmesiyle eşik katmanı; ZMEK hattı üzerinde kararlılık parametresi niteliğine bürünmektedir [Åström ve Murray, 2008].

Sürüklenme boyutu ise, eşikleme rejiminin yeniden ayar ve bakım döngüleriyle birlikte ele alınması gerektiğinin somut bir göstergesidir. Sensör eğrisindeki kayma durumları, bağlantı gevşemesi ve çevresel etmenler göz önüne alındığında oturumlarda ve oturumlar arasında dağılım miktarını değiştirebilmektedir. Bu sebeple eşik değeri tekil ve statik bir değer olarak sabitlenmemiş olup, yüzdelik dilim temelli bant yaklaşımı seçilerek dağılım ölçeğinin değiştiği durumlarda dahi istatistiksel konumun korunarak dengeli bir kontrol zeminin üretilebilmesi sağlanmıştır [**Huber ve Ronchetti, 2009**].

Bu paralelde bant mantığıyla uyumlu olarak açma ve kapama niteliğinde iki eşik değeri belirlenmektedir. Kanal durumu değerlendirildiğinde eğer özellik değeri E_{on} 'u aşmış ise 0'dan 1'e geçilirken, E_{off} 'un altına düştüğü ise 1'den 0'a değer dönüşümü gerçekleşir. V1 prototipte ise E_{off} , P80 değerine karşılık gelecek şekilde; E_{on} , P95 değerine tekabül edecek şekilde kurgulanmaktadır. P80–P95 bant aralığı seçilmesinin sebebi ise, P80 gözlemlerin yüzde 80 altında kaldığı durumu ifade ederken, P95 en yüksek yüzde 5 dilimini temsil etmektedir. Bu sebeple eşik, bağlama göre normalize edilebilen tolerans aralığı niteliğiyle işleyişe katılmaktadır. P80 değeri altı gürültü tabanı ve sistem dalgalanmalarının temsil bölgesi olarak izlenir. P80–P95 aralığı ise anlamlı birikimlerin belirgin hale geldiği eşik kuşakları olarak gözlemlenir. P95 değeri üstü, dinamik bir filtreleme görevi görerek çalışan seçici veri bölgesi olarak temsil edilir. Prototip veri toplama aşamasında üst eşik değerinin aşıldığı durumlarda olay³⁴ (event) belirginleşir ve alt eşik değerine inilmedikçe, olay koruma ilkesi kapsamında bant histerezis prensibiyle birlikte çalışmaktadır.

Bu doğrultuda histerezisli durum güncelleme kuralı Denklem 6.6'da ele alınmıştır. Burada $s(t)$ karar durumunu ifade ederken, $x(t)$ ise M katmanında üretilen pencerelenmiş metrik değerini tanımlamaktadır.

$$s(t) = \begin{cases} 1, & x(t) \geq E_{on} \\ 0, & x(t) \leq E_{off} \\ s(t - \Delta t), & \text{aksi halde} \end{cases} \quad \text{Koşul: } E_{on} > E_{off} \quad (6.6)$$

³⁴ Olay (event), pencerelenmiş metrik $x(t)$ 'nin üst eşiği E_{on} değerininin aşılmasıyla başlayan ve $x(t)$ alt eşiğin E_{off} altına düşünceye kadar devam eden seçili durum aralığını tanımlamaktadır ($s(t) = 1$ rejimi) [**Oppenheim ve Schaffer, 2010**].

Provenans-S: Schmitt tetikleyici prensibi ve histerezisli eşikleme yaklaşımlarından yararlanılmıştır. Çalışmada karar salınımını azaltmak amacıyla E katmanı üzerinden uygulamaya sokulmaktadır [Horowitz ve Hill, 2015].

Bu eşleme yaklaşımı, olay durumunu bandın hem alt ve üst sınırlarınca kurmakta hem de bant içindeki niyet ve yoğunluk miktarlarını ayrı bir metrikle gözlemleyerek olay seçimini ve şiddetini ayırklaştırır. Bu sayede E katmanı kapı görevini görmekte, M katmanı ise kapıdan geçen olay şiddetini K ölçütlerine ölçekli olarak sevk eden bir düzlem niteliğine bürünmektedir.

Bu noktada zon etiketi ya da kanal, yüksek tekrarlama oranıyla tetikleniyorsa ilgili E_{on} değeri kademeli bir şekilde arttırılmaktadır. Eğer yok denecek kadar az bir seviyede tetiklenme durumu varsa E_{on} değeri azaltılmaktadır. Adaptif protokol aracılığıyla, olay seçimi hedeflenen tetiklenme oranı üzerinden döngüye katılacak şekilde tanımlanmaktadır. Histerezisli olay seçimi ile uyarlamalı eşik güncellemesi ($E(t+1) \rightarrow E(t)$) birlikte düşünüldüğünde E, hem kısa süreli salınımları sönümleyen bir filtreleme katmanı hem de çevresel etmenler altında sistem hassasiyetini süregelen normalize eden bir düzlem sunmaktadır.

Hedeflenen referans mimari kapsamında E_{on} güncellemesi, Denklem 6.7’de ele alınmaktadır. Burada $r(t)$ tetiklenme oranını, r_{target} hedef oranı, η ise adım büyüklüğünü ifade eder.

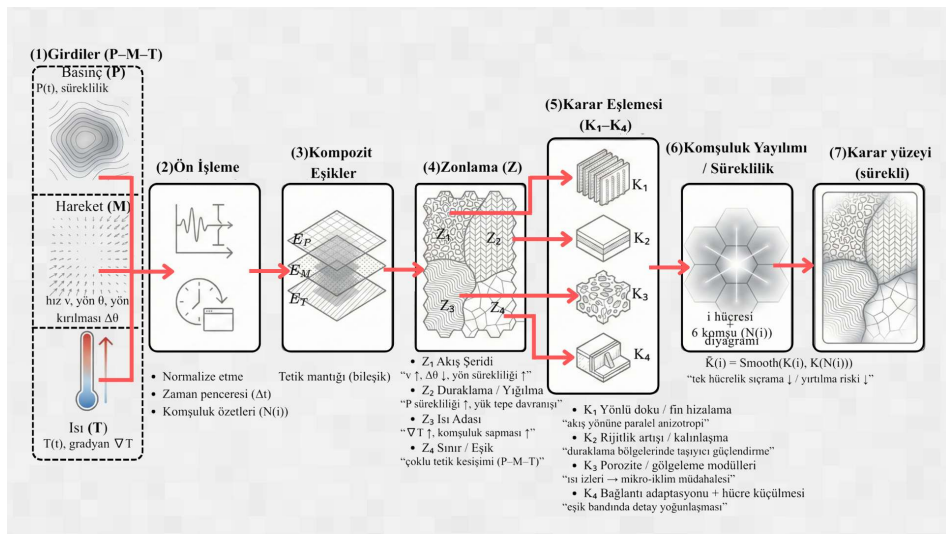
$$E_{on}(t + \Delta T) = E_{on}(t) + \eta(r(t) - r_{target}) \quad (6.7)$$

Provenans-A: Geri besleme prensibinden temellenerek ele alınan parametre güncelleme yaklaşımı kuramsal okumalarla uyumludur. Tezde hedef tetiklenme oranının E_{on} ’u kademeli olarak düzenlediği, bir uyarlama protokolü olarak işleyiş döngüsünü sağlamaktır [Åström ve Murray, 2008]. Söz konusu güncelleme süreci, eşik bandı protokolüne bağlı kalarak sürüklenme değeri altındaki eşik duyarlılığının devamlı kalibrasyonu sağlamaktadır.

Gelinen noktaya kadar tanımlanmış olan süre koşulları, histerezisli eşikleme yaklaşımını zaman düzleminde daha dengeli hale getiren yardımcı bir katman olarak tanımlanır. Sadece tekil, anlık eşik aşımının gerçekleşmesi, yeterli argümanı sağlamamaktadır. Bu noktada olayın açılıp kapanması E_{on} ve E_{off} koşullarıyla birlikte, Δt_{on} ve Δt_{off} süre eşikleri ile ilişkilendirilmesi üzerinden ele alınmaktadır. Kapanış durumundan sonra, kısa genlikli tekrarlı tetiklenmeleri azaltmak amacıyla refrakter süresi (τ_{ref}) uygulanmaktadır. Üretilen bu çıktılar ($s(t), \Delta t_{on}, \Delta t_{off}, \tau_{ref}$), bulgulara ele alınacak olan KPI-E doğrulamasının değerlendirme ölçütleri olarak kabul edilmektedir.

6.5. Zonlama, Karar ve Eyleyici Parametre Seti

ZMEK hattı K bileşeni burada, zon etiketleme ve karar eşleme kesenlerin üzerinden ele alınır. Zonlar, **Tablo 4.1**'deki Mikro jest ailelerinin hücre ve komşuluk ölçeğinde ürettiği metrik örüntülerinin, eşik bandı ve histerezis rejimiyle seçilmesi üzerinden yapılandırılmaktadır. Bölüm 4.2'de Laban temelli mikro-hareket analiziyle nitel özellikleri tanımlayan akış, duraklama ve yoğunlaşma türler; hücresel temsil bağlamında sayısal zonlara dönüştürülmektedir. Burada her zon tektonik karar ailelerine K1–K4 üzerinden bağlanmakla kalmayıp, aynı zamanda hücre bazında uygulanabilir bir eyleyici parametre seti olarak somutlaşmaktadır (**Şekil 6.5**). Bu noktada porozite, fin yönelmesi, yerel rijitlik ve çözünürlük, kararın dijital ikiz üzerinden taşındığının fiziksel kanıtları niteliğindedir.



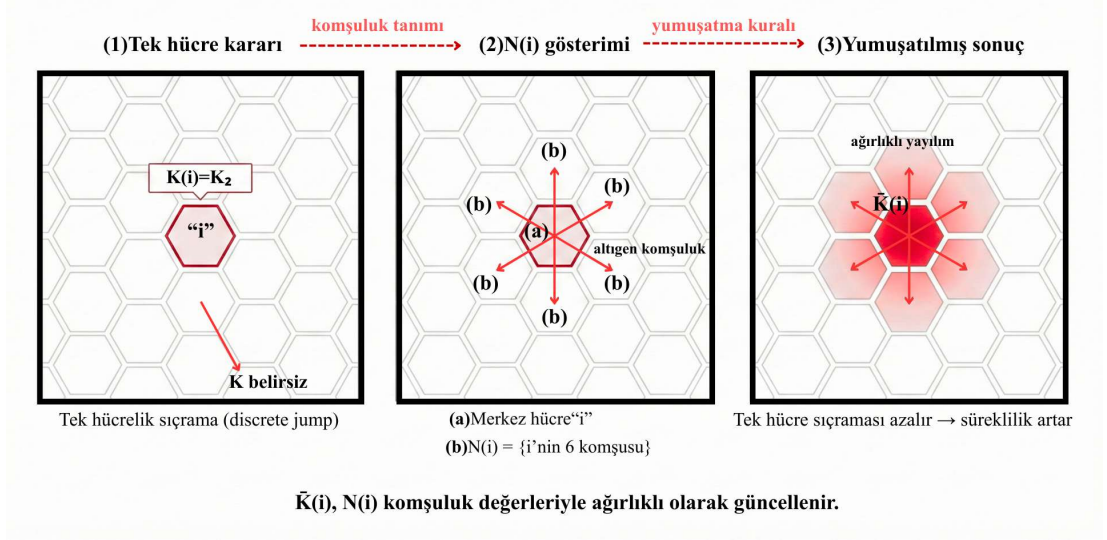
Şekil 6.5: K katmanını akış şeması.

Zon sınıflandırma kuralları hücre ve komşuluk ilişkileri bağlamında; basınç, hareket ve ısı metriklerinin kompozit (farklı malzeme niteliklerini bir arada bulunduran) eşiklerle birlikte değerlendirilmesi aracılığıyla uygulanmaktadır. Referans mimari kapsamında akış şeridi zonu, hareket hızının yüksek, yön kırılmasının daha düşük gözlemlendiği durumlarda ve komşuluk etkileşiminde akış yönünün süregelen olduğu anlarda tanımlanmaktadır. Bu zonlarda karar, yüzey üzerinde yönlü bir doku üretme, fin niteliğini akışa uygun olarak hizalayabilme ve hücrelerin hacim değişimi oranlarını akışla uyumlu yönlendirme etrafında şekillenir. Bu sayede tekrarlanan beden rotaları, yüzey üzerinde okunur bir duruma gelmektedir.

V1 prototip değerlendirilmesinde ise hareket kanalı bulunmadığından duraklama ve yığılma zonları, basınç sürekliliği ve yük tepe davranışları vasıtasıyla incelenmektedir. Bu zonlarda beden uzun süreli temas gösterdiği için konaklama süresi artarak, zaman içinde malzeme esnemeleriyle birlikte belirli alanlarda çukurlaşma gözlemlenebilmektedir. Karar ekseninde bu durum, bağ ve rijitlik artışı, noktasal ağırlığı taşıyan birimlerin (yük sensörü, yüzey vb.) güçlendirilmesi ve ihtiyaç halinde boşluk oranlarının azaltılması yönünde yorumlanabilmektedir.

Referans mimari kapsamında ısı adası zonları, sıcaklık gradyanı ve komşuluk sapmasının belirlenen eşik değerinin üstüne çıktığı durumlarda izlenebilmektedir. Bu alanların ısı tutma oranı, diğer komşu hücre halkalarını kıyasla daha yüksek tanımlanabilmektedir. Bu bölgelerde porozite miktarı arttırılarak, yüzey ısısı düşürülebilmektedir. Bu sayede beden kaynaklı ısı izler, tektonik karar olarak karşılığını bulabilmektedir.

Sınır ve eşik bölgeleri ise, referans mimari kapsamında oluşum gözlenmesi planlanan; basınç, hareket ve ısı kanallarının eşzamanlı tetik binmeleriyle oluşan alanları tanımlamaktadır. V1 doğrulamasında ise yük tepe davranışı ile süreklilik kesişimi üzerinden bu alanlar temellendirilebilmektedir. Bu bölgelerde anizotropi üzerinden yön kırılmalarıyla uyumlanan bağlantı detayları, bölgesel destek bileşenleri ve hücre boyutunda küçülme gibi kararlar devreye girebilmektedir. Zon sınıfına göre kararlar hücre ölçeğinde belirlenirken, komşuluk ilkesi gereği K1–K4 kararlarının yüzeyde anlık hücre yükselişi göstermeden homojen yayılımı istenmektedir. Bu yayılım durumu, tanımlanan altıgen komşuluk kümesi $N(Z_i)$ üzerinden uygulanmaktadır. Komşuluk temelli yayılım mekanizması, **Şekil 6.6**'da ele alınmaktadır.



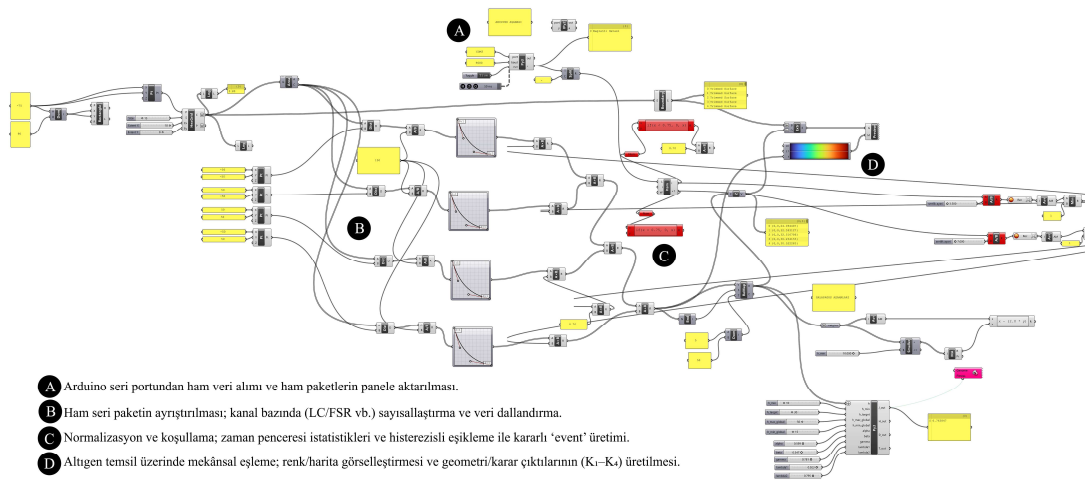
Şekil 6.6: Altıgen topolojide $N(Z_i)$ komşuluk kümesi üzerinden karar yayılımı.

Bir diğer normalizasyon hattı ise kararın mekânsal olarak yüzeye işlenme biçimini regüle eden komşuluk temelli yayılım ve yumuşatma ilkeleridir. Burada hedeflenen durum, sensör gürültüsünden ve tekil temas sapmalarından kaynaklanan anlık parlamaların doğrudan tektonik çıktıya dönüşmesini sınırlamak ve bu bağlamda kararın komşuluk içinde tutarlılık gösteren bir örüntüye dönüşmesini sağlamaktır. Bu sebeple hücreler arası komşuluk ilişkisi, karar istikrarını sağlayan önemli bir standartlaştırma yoludur.

Yumuşatma ilkesi iki eksen üzerinden uygulanmaktadır: Öncelikle olay maskesi üzerinden sistem tutarlılığının sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmesi süreçleri yer alır. $s(t)$ olay maskeleri karar üretimine doğrudan taşınmamaktadır. Nitekim 1-halka komşuluklarının tutarlı biçimde yoğunlaştığı durumlarda, olay devreye girer ve bir bant olarak kalınlaştığı kabul edilmektedir. Daha sonra, karar parametreleri üzerinden yürütülen kademeli yayılım süreçleri ele alınmaktadır. Burada zon etiketi ve karar ailesi seçimleri hücre ölçeğinde gerçekleştirilerek, eyleyici parametre seti komşuluk bağlamında güncellenebilmektedir. Bu sayede yüzeyde sert tektonik geçişlerden ziyade gradyanlı davranış örüntüsü gözlemlenebilmektedir. Rijitlik veya porozite parametreleri, hücrede anlık yükselen sıçrama durumlarından ziyade komşu hücrelere dağıtılarak arttırılmaktadır. Yönlü doku kararları ise bu noktada, vektörlerin komşuluk bağlamında hizalanması ve yön durumunun belirginleşmesini ifade etmektedir. Sonuç olarak, basınç, hareket ve ısı metriklerinden türetilen zon etiketlerinin dört ilke üzerinden karar ailelerine çevrildiği temellendirmiştir.

6.6. Hesaplamalı Geometri ve Çözüm

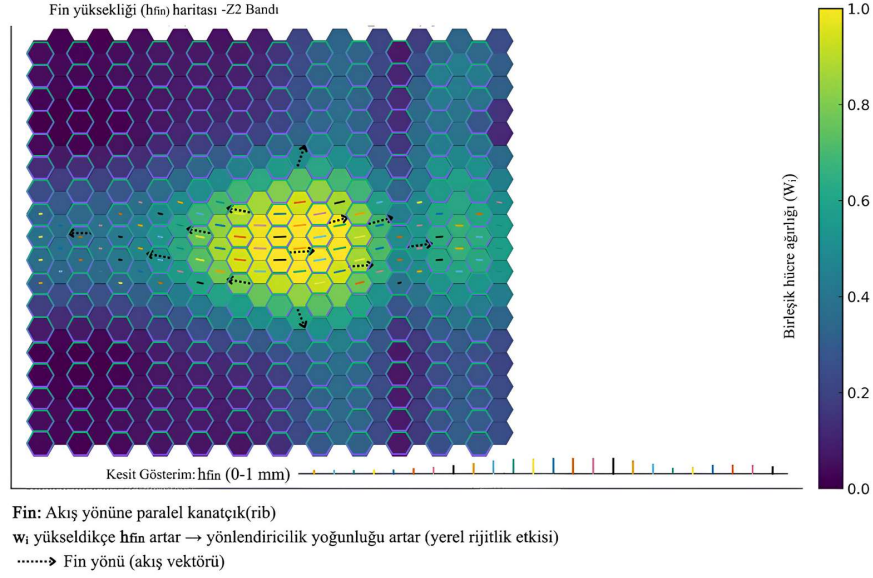
Zonların sınıflandırılması ve karar eşlemeleri doğrultusunda üretilen K1–K4 kararları, Grasshopper ve Kangaroo ortamında dijital ikiz olarak oluşum durumu incelemeye alınır. Burada grid artık fiziksel anlamda çözüm üretebilen bir karar yüzeyi olarak ele alınır. Tez kapsamında eyleyici katman olarak tanımlanan bu düzlem, kararları kısıt aileleri ve parametrik geometri operatörleri üzerinden uygulayarak iz–metrik–eşik–karar hattının çıktısını çözülebilir bir geometrik form bulma sürecine dönüştürmektedir (Şekil 6.7).



Şekil 6.7: Algoritmik akış şeması (Grasshopper tanımı).

Kangaroo içinde ele alınan kısıtlar, düğüm, kenar ve panel olmak üzere üç seviye üzerinden kurgulanmaktadır. Düğüm seviyesinde Anchor kısıtları, yüzeyin belirli noktalarına sabitlenmektedir. Bu noktalar prototipin zemine yerleştirildiği, mekanik bağlantıların kurulduğu ve sınır koşulu olarak tanımlanmış bölgelerin oluşum referanslarını ifade etmektedir. Kenar seviyesinde ise Length kısıtları üzerinden hücre kenarlarında meydana gelen boyut değişimi incelenmektedir. Bu kısıt türü, akış şeridi zonlarında hücrelerin uzama oranının incelenmesi amacıyla K2 kararlarıyla birlikte uygulanmaktadır. Bend kısıtları, yüzeyin bükülme durumuna karşı gösterdiği direnci düzenlemektedir. Duraklama ve yığılma zonlarında rijitliğin yükselmesinden sorumlu K3 kararları, bu kısıt türünün ağırlık güncellemeleri vasıtasıyla eşdeğer karşılığıyla eşleştirilir.

Özetle K1–K4 karar aileleri bu kısıt setleri aracılığıyla eyleyici parametre işlevine bürünürler. Bu noktada K2 kararları, fin yönüyle birlikte Length kısıtları ve uzama oranları üzerinden uygulanmaktadır (Şekil 6.8). K3 kararları ise, Bend kısıtlarının ağırlıkları, yerel rijitlik ve kalınlık parametreleriyle sisteme entegre edilmektedir.



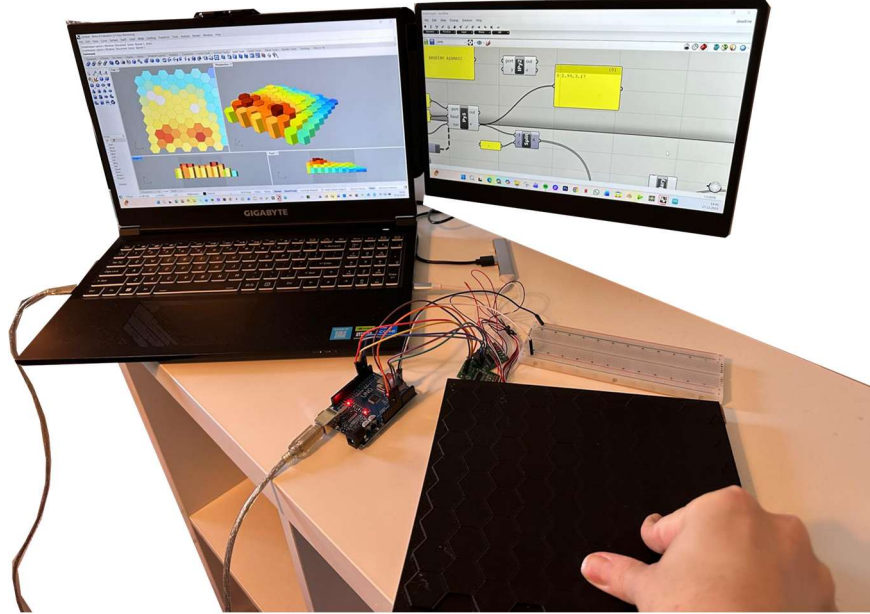
Şekil 6.8: Fin yönü (v_i) ve fin yüksekliği (h_{fin}) haritası (K2 yönlü doku, referans mimari).

K1 kararları, hücre porozite ve perforasyon yoğunluklarının güncellenmesinden sorumludur. K4 kararları ise yerel çözünürlük durumlarının, hücre ve panel yoğunluğu üzerinden arttırılmasını sağlamaktadır. Bu iteratif çözümün pratikte gözlemlenme süreçleri ve yakınsama davranışının gerçek zamanlı olarak denetimi, v1 prototipi üzerinden canlı veri izleme arayüzünde incelenebilmektedir. Bu arayüz, kanıt katmanı olarak teorik ve pratiğin kesişim durumunu belirginleştirmektedir. Çözüm işlemleri ise Kangaroo Physics-Grasshopper eklentisi üzerinden simülasyon yardımıyla iteratif olarak uygulanmaktadır. Her iterasyonda sistemin toplam enerji fonksiyonu, uzama, bükülme ve basınç gibi terimlerin bileşkesi olarak hesaplanmaktadır. Yakınsama, iteratif çözümün ilerleme durumunda güncellemelerin sıfıra yaklaşmasını, kısaca dengeye geldiği durumu ifade etmektedir. Uygulamada eşikteki yer değiştirme durumu ΔRMS üzerinden okunmaktadır. Bu değer; $\Delta RMS < 10^{-3}$ durumunu sağladığı anlarda, denge durumuna ulaşıldığı kabul edilmektedir (Denklem 6.8).

$$\Delta RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \| \mathbf{x}_j^{(k)} - \mathbf{x}_j^{(k-1)} \|^2} < \varepsilon \quad (6.8)$$

Provenans-T: Kangaroo çözümünde iteratif dengenin yakınsama durumu incelemesi için durdurma ölçütü bu çalışmada uygulama sözleşmesi olarak kabul edilmiştir. Burada N düğüm sayısını ifade ederken, $\mathbf{x}_j^{(k)}$ ise k. iterasyondaki konumu temsil etmektedir. ε ise yakınsama eşiği olarak kabul edilir.

Dengeyle birlikte ZMEK yöntemsel yaklaşımı sonucu üretime uygun yüzey geometrisi üretimi doğrulanmaktadır. Bu durumda yakınsamayan çözümler üretim açısından kararsız durumlar olarak kabul edilmektedir. Kararsız durum tespitinde, geri besleme döngüsünde eşik, ağırlık ve kısıt parametreleri tekrar kalibrasyon işlemi yapılarak dengeye ulaşılması amaçlanır. Bu ele alınan süreç, çözüm iterasyonları ve canlı sensör girdileriyle birlikte v1 doğrulamasında eşzamanlı olarak izlenmiştir (Şekil 6.9).



Şekil 6.9: Gerçek zamanlı etkileşim ve canlı veri izleme (v1 doğrulaması).

6.7. Optimizasyon ve KPI Aşamaları

Sistem başarısını ölçebilmek, farklı tasarım senaryoları üzerinden karşılaştırma yapabilmek ve ZMEK'in karar yüzeyi üretim potansiyellerinin algoritmik değerlendirilmesi amacıyla KPI ve optimizasyon durumu gereksinim olarak belirlenir.

Bu sebeple KPI'ların tanımı, amaç fonksiyonun seçimi ve Galapagos temelli optimizasyonun yapılandırma süreçleri sistem tasarımına entegre edilmiştir (**Tablo 6.2**).

Bu tez kapsamında optimizasyon omurgası, heterojenlik ve çeşitlilik (H), hedef uyumu (D) ve üretim maliyeti ile sapması (T) olmak üzere üç KPI ailesi üzerinden kurgulanmıştır. Bu aileler, uygunluk (fitness) skor değeri üretmesi için seçilen amaç fonksiyonu (J) üzerinden ilişkilendirilmektedir.

Tablo 6.2: Denklemler, üretilen çıktı türleri, ZMEK adımı ve eyleyici karşılıkları.

Denklem	Provenans (S/A/T)	Açıklama
(6.1)	A	Pencereleme/özetleme – ZMEK “İz→M” uyarlaması
(6.2)	S	Yüzdelik P90 standart tanım
(6.3)	S	Varyans/ σ standart tanım
(6.4)	T	B asym tez indeksi
(6.5)	A	Sağlam istatistik uygulama uyarlaması
(6.6)	S	Schmitt/histerezis standart kural
(6.7)	A	Geri besleme ile eşik güncelleme uyarlaması
(6.8)	T	Yakınsama/durdurma ölçütü
(6.9)	S	Shannon entropisi standart tanım
(6.10)	A	Mesafe temelli hedef uyumu uyarlaması
(6.11)	T	Üretim maliyeti bileşik terimi (tez tanımı)
(6.12)	A	Ağırlıklı amaç fonksiyonu (fitness) uyarlaması

Heterojenlik H, karar dağılımının çeşitliliği ifade eden parametresi olarak belirlenmektedir. Shannon entropisinden yararlanılarak, farklı karar sınıflarının yüzeydeki dağılımı bir skaler değer üzerinden açık ve karşılaştırılabilir şekilde özetlenebilmektedir [Shannon, 1948]. H, zon türü ve karar çeşitliliği üretim potansiyelinin nitel dışında nicel olarak da incelenmesine imkân sağladığı için KPI değerlendirme parametresi olarak seçilmiştir. Çalışma kapsamında H, K1–K4 karar ailelerinin yüzey dağılımı üzerinden hesaplanmaktadır. Her bir karar ailesinin alan payı p_k ile temsil edilmekte olup, toplam aktif hücre alanı bağlamında standartlaştırılmaktadır. Dağılım durumu homojenleştğinde, H değerinde azalma meydana gelmektedir. Karar çeşitliliğinin artmasıyla H değerinde de yükseliş gözlemlenir (Denklem 6.9).

$$H = - \sum_{c \in C} p(c) \log p(c) \quad (6.9)$$

Provenans-S: Shannon entropi tanımı literatüre yerleşmiş kuramlardan biridir. Tezde karar sınıfları dağılımının heterojenliğini tek değer üzerinden ifade etmek amacıyla bu tanımdan yararlanılmaktadır [Shannon, 1948]. Denklemden C karar sınıflarını ifade etmekteyken, $p(c)$ ise yüzey oranını tanımlamaktadır.

Hedef uyumu D, belirli bir senaryo kapsamında tanımlanan referans dağılımına olan yakınlık durumunu ölçmektedir. Burada senaryo, ısı adalarının azaltılması gibi önceliklerle ifade edilebilmektedir. Bu sayede, saha senaryoları arasında karşılaştırmayı yapmaya olanak sağlayan yakınlık ölçütü üretilir. Bu yakınlık durumunu tek bir skaler değere indirgemek amacıyla senaryo çıktısı (S) ile referans dağılım (S_{ref}) arasındaki sapma $d(\cdot)$ sınıfı üzerinden hesaplanmaktadır (Denklemler 6.10).

$$D = 1 - \frac{d(S, S_{ref})}{d_{max}} \quad (6.10)$$

Provenans-A: Hedef duruma olan uzaklığın tek skora indirgenmesi amacıyla uygulanan yaklaşım, standart karşılaştırma mantığına dayanmaktadır [Huttenlocher et al., 1993]. Tezde $d(\cdot)$ fonksiyonu üzerinden Hausdorff ailesi seçilerek hedef uyumu KPI değerlendirme ölçütüne uyarlanmaktadır.

Üretim maliyeti ve sapması T, parça sayısı, montaj süresi ve panel türlerinin miktarı gibi nicel bileşenleri ifade eden bileşik bir terim olarak seçilmektedir. T sapmasının artmasıyla, üretim ve montaj süreci çok katmanlı bir duruma evrilir (Denklemler 6.11).

$$T = w_1 n_{parca} + w_2 n_{ek} + w_3 t_{montaj} + w_4 n_{tip} \quad (6.11)$$

Provenans-T: Prototipleme ve panelizasyon dinamikleriyle şekillenen üretim çok katmanlılığını ifade etmek amacıyla, bileşik bir maliyet durum terimi olarak belirlenmiştir. Burada n_{parca} toplam parça sayısını temsil ederken, n_{ek} ise ek eleman miktarını tanımlamaktadır. t_{montaj} parametresi, tahmini montaj süresini, n_{tip} ise farklı

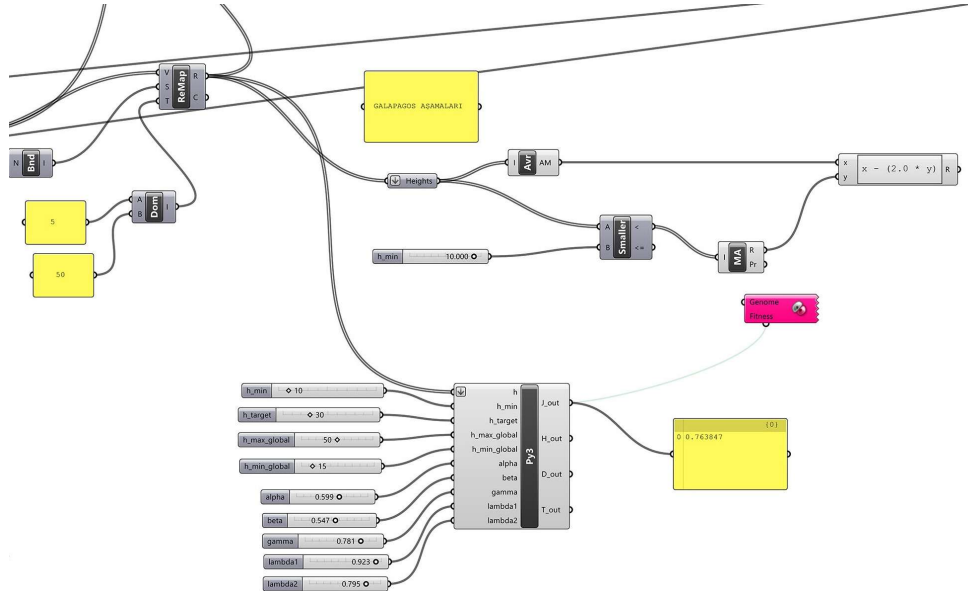
panel (modül) türü sayısını tanımlamaktadır. w_i , senaryo sıralamasına bakılarak belirlenen katsayıları ifade etmektedir.

Amaç fonksiyonu J, KPI setlerinin çok parametreliliği amaç fonksiyonu üzerinden birleştirilmesiyle tanımlı hale gelmektedir. Bu bağlamda H ve D artması istenene pozitif ölçütler olarak belirlenirken, T ise azaltılması beklenen cezalandırıcı terim olarak ele alınır (Denklem 6.12).

$$J = \alpha H + \beta D - \gamma T \quad (6.12)$$

Provenans-A: Ele alınan denklem yaklaşımı optimizasyon literatürüyle uyumlu olacak şekilde seçilmiş olup, tezde Galapagos, fitness girişiyle grasshopper beyninde bağlanan amaç fonksiyonu olarak uyarlanmaktadır [Goldberg, 1989].

Özetle J amaç fonksiyonu sayesinde, Galapagos'un Fitness girişine bağlanarak evrimsel çözücünün her jenerasyonda daha yüksek J değerine sahip çözümler üretmesi hedeflenir (Şekil 6.10). Araştırma süresince optimizasyon yaklaşımı, v1 kapsamında basınç ve ağırlık tabanlı kararlar üzerinden izlenmiştir. Çoklu kanal optimizasyonu ise referans mimari kapsamında tanımlanmaktadır.



Şekil 6.10: Grasshopper–Galapagos’ta amaç fonksiyonu J kurulumu ve Fitness bağlantısı (H–D–T, α – β – γ ; gen parametreleri).

6.8. Prototipleme ve Geri Besleme Döngüsü

V1 doğrulaması kapsamında geri besleme döngüsü, E_{on} ve E_{off} eşik kısıtlarıyla basınç kanalı ağırlıklarının güncellenmesi üzerinden sınırlı işletilmiştir. Referans mimaride ise aynı mantık, çoklu kanaldan beslenen verileri içerecek şekilde kurgulanmıştır. Üretim tarafında K1–K4 kararlarının fin geometrisi ve panelizasyon üzerinden uygulamaya aktarılması amaçlanmış olup, hücre (Z) birimleri altıgen topolojiden referans alan bir modülasyon sistemiyle imalat durumu ele alınmıştır. Geometri, fiziksel üretim için dosya türü olarak STL gibi formatlara aktarılır. Bu vasıta ile 3 Boyutlu yazıcı üzerinden üretimin gerçekleşmesi hedeflenir. Ölçüm aşamasında ise aynı sensör kurgusu korunarak A/B ve ablasyon denemeleri yapılır. Karar parametrelerinin devre dışı bırakılmasının ve farklı eşik konfigürasyonlarının H, D, T üzerindeki etkisi izlenir. Kalibrasyon aşamasında ise elde edilen çıktılar, eşiklerin, kanal ağırlıklarının ve gerekli durumda komşuluk çekirdeğinin güncellenmesi için kullanılır. Her prototip döngüsü v1, v2, v3 gibi sürümlerle etiketlenerek değişimin izi kayıt altına alınır.

6.9. Etik, Sınırlılıklar ve Risk Azaltım

V1 prototipin doğrulama işlemleri sırasında katılımcı temelli veri toplama, anket alınmamıştır. Kaydedilen veri basınç ölçümleri, bunlardan türetilen pencerelenmiş metrikler ve olay maskesi gibi teknik çıktılarla sınırlı kalmaktadır. Bu sebeple v1 prototip deneme süreçleri, kişisel veri kapsamı sınırlı tutularak veri minimizasyonu ilkesiyle yürütülmüştür. Çoklu kanal entegrasyonu ve kullanıcı temelli değerlendirme tezde uygulanmamıştır. V2 planı kapsamında gerekli etik ve veri yönetimi şartlarıyla ayrıca ele alınacaktır.

7. DEĞERLENDİRME, TARTIŞMA VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu bölüm, beden–mekân etkileşiminin grid tabanlı bir yüzey üzerinde ölçülebilir izler ve bu izlerden türeyen yerinde ayar kararları üzerinden nasıl işletilebildiğini özetler. Üretken Piksel yaklaşımının kuramsal dayanakları ile ZMEK (Zon, Metrik, Eşik, Karar) akışının prototip ve simülasyon çıktıları birlikte değerlendirilerek bulguların kapsamı, sınırlılıkları ve gelecek çalışma hatları ortaya konur.

7.1. Araştırma Probleminin Yeniden Çerçevenmesi

Tezin çıkış sorusu şu şekilde formüle edilmiştir: “Bedenin gündelik jestlerinden türeyen fiziksel veriler, grid tabanlı bir mimari yüzeyde yerinde ayar üreten bir tasarım mekanizmasına dönüştürülebilir mi?”. Bu soru, bir yandan beden–mekân ilişkisini kuramsal tartışma eksenine taşıırken, diğer yandan hesaplamalı tasarım ve dijital fabrikasyon uygulamalarının aynı işletim hattı üzerinde ilişkilenebileceğini değerlendirmeyi amaçlıyordu.

Tez boyunca yürütülen tartışmalar ve prototip denemeleri, bu soruya koşullu bir evet yanıtı üretmektedir. Sahada bırakılan izler, tekrar eden jestlerin zaman içinde kalınlaşmasıyla oluşan ritmik birikimler olarak ele alındığında, grid yüzeyde belirgin yoğunlaşmalar gözlemlenmiştir. Akış bantlarının ve bazı durumlarda ısıtılabilir adalara benzeyen kümelenmelerin okunabilir duruma geldiği görülmüştür. Bu izlerin ZMEK hattı içinde sayısal değerlere atanması vasıtasıyla veri hücre ölçeğinde işlenebilir hâle geldiği gözlemlenir. Histerezisli eşikleme sayesinde her hücre için kararlı zon etiketleri üretilebildiği görülür. Üretilen bu zon etiketleri, tektonik K kararlarına bağlandığında beden verisi ile yüzey davranışı arasında izlenebilir bir ilişki kurulabildiği ortaya konmaktadır.

Bu süreçte araştırma problemi de yer değiştirmiştir. Başlangıçta çerçeve daha çok veriyle biçimlenen bir yüzey sorusu olarak ele alınırken, tez ilerledikçe beden ritimlerinin grid üzerindeki karar yüzeyini nasıl güncellediği sorusuna evrilmiştir. Burada geliştirilen üretken piksel yaklaşımı ise bu tanımlı prototip ölçeğinde sınavarak kentle etkileşimli üretim fikri için mikro ölçekte bir deney düzlemi sunmaktadır. Bu

doğrultuda grid, bedensel izlerin yoğunluğu ve sürekliliği üzerinden ayarlanan bir karar alanı olarak ele alınmıştır.

7.2. Kuramsal Katkılar: Beden, Grid ve Üretken Piksel

Tezin kuramsal katkısı üç eksen üzerinde toplanmaktadır: beden–mekân ilişkisinin okuma rejimi, gridin işletim altyapısı olarak yeniden konumlanması ve üretken pikselin mimarlık için kavramsal bir karar birimi olarak tanımlanması üzerinden şekillenir.

İlk eksen, beden, gündelik devinimleriyle iz üreten ve bu izler üzerinden mekânsal düzenin yerel olarak yeniden ayarlanmasını tetikleyen operatif bir etken olarak ele alınmıştır. Beden burada, gündelik devinimlerle iz üreten ve bu izler üzerinden mekânsal düzenin yerel olarak yeniden ayarlanmasını tetikleyen operatif bir fail gibi ele alınmıştır. Bölüm 2’de kurulan Lefebvre hattı, iz yoğunlaşmalarını zaman pencereleri ve tekrar, vurgu ve aralık düzenleri üzerinden okunabilir kılınarak, eşiklerin kalınlaşabilen bir bant mantığıyla düşünülmesini desteklemiştir. Sloterdijk’in zar/kabuk okuması, eşğin filtreleyen ve ayarlayan bir arayüz protokolü olarak ele alınmasına; Laban ise yönelim ve mikro jest niteliğinin temsili göstergelere çevrilebileceği bir sınıflandırma zeminine imkân vermiştir. Böylece kuram, deneyimi betimleyen bir arka plan olarak kalmayıp izlerin hangi koşullarda ölçülebilir ve karar üretir hâle geleceğini gerekçelendiren bir okuma rejimine dönüşmüştür.

İkinci eksen, grid kavrayışının modernist bir düzen şemasından ayrıştırılıp karar yüzeyi olarak yeniden tanımlanmasıdır. Bölüm 3’te grid, adreslenebilir, ölçülebilir ve komşuluk ilişkileriyle işletilebilen bir altyapı olarak ele alınmıştır. Bu yaklaşımda gridi izlerin örnekleme ve pencereleme ilkeleriyle kararlı hâle getirildiği, komşuluk üzerinden gürültünün sınırlandığı ve kararın yüzeye kademeli bir yayılımla işlendiği operatif bir rejim halinde okunmasını sağlar. Bu dönüşüm, kuramsal düzlemde beden, ritim ve eşik tartışmalarını yöntemsel düzlemde kalibrasyon, okunabilirlik ve yerinde ayar mantıklarına bağlayan kritik geçişi sağlamıştır.

Üçüncü eksen, üretken piksel kavramının görsel kültürdeki raster pikselden ayrıştırılarak yerel ölçekte veri toplayan, işleyen ve karar üreten bir mimari arayüz birimi olarak tanımlanmasıdır. Üretken piksel birimi (Z), bedensel izleri (ısı, basınç,

hareket) operatif hatta alır; bunları metrik temsillere çevirir, bağlama duyarlı eşik bandı ve histerezis rejimleriyle sınırlar ve çıktısı K_1 – K_4 karar aileleri üzerinden tektonik ve geometrik karşılıklara bağlar. Buradaki kuramsal katkı, yüzey–veri ilişkisini temsil veya etkileşim söylemi düzeyinde bırakmaması; mimari üretimde kararın en küçük işletim taşıyıcısı fikrini kavramsal olarak sabitlemesidir.

Bu çerçeve, kentsel mekânda kamusal yüzeylerin geçiş bantları, düğüm noktaları ve promenatlar gibi alanlarda bedensel izlerle birlikte izlenebilir, kalibre edilebilir ve yerel ölçekte ayarlanabilir bir tasarım problematiği olarak ele alınmasına zemin hazırlar.

7.3. Yöntemsel Katkılar: ZMEK Çerçevesi ve Tasarım Yoluyla Araştırma

Tezin yöntemsal katkısı, beden verisini tasarım kararına bağlayan uçtan uca bir çerçevenin kurulmuş olmasında toplanmaktadır. ZMEK şeması, Bölüm 6’da ayrıntılandırılan sistem mimarisi üzerinden teknik olarak somutlaştırılmıştır. Hücre (Z) ölçeğinde işletilen bir karar rejimi olarak prototipte okunur hâle gelmiştir. Eşik bandı ve histerezis ilkeleri, ZMEK’in işleyiş durumunu temellendiren kararlılık mekanizması olarak ele alınmıştır. Bu sayede gürültülü veri akışından karar üretme iddiası teorik ekseninde kalmayıp, prototip ekseninde test edilen bir işletim kurgusuna dönüşmüştür.

İz katmanı, hedeflenen referans mimaride FSR matrisi, kamera (optik akış) ve IR/termal katmanlarından gelen işlenmemiş verilerin zaman ve mekân içinde hizalanmasına dayanmaktadır. v1 mikro modülde ise iz, yük hücresi ve HX711 üzerinden elde edilen yük ve basınç benzeşimi sinyaliyle kurulmuştur. Metrik düzeyi, bu izlerin hücre (Z) ölçeğinde ölçülebilir özelliklere çevrildiği katmandır. V1 doğrulamasında basınç temelli B_{p90} gibi çekirdek göstergeler öne çıkarken, referans mimaride hız büyüklüğü, yön kırılması ve yerel sıcaklık gradyanı gibi kanallar aynı mantıkla metrik uzayına taşınacak şekilde tanımlanmıştır. Eşik düzeyi, histerezisli eşikleme ile gürültülü sinyallerden kararlı zon etiketleri üretir; karar düzeyi ise zonların tektonik karşılıkları olan K_1 – K_4 ile eşleştirilmesini ifade eder. Bu tezde K düzeyindeki kararlar, her hücre (Z) için bir eyleyici parametre vektörü gibi kodlanmıştır: porozite oranı, fin yönü ve yüksekliği, rijitlik katsayısı ve yerel

Çözünürlük bu vektörün somut karşılıklarıdır. Böylece protokol düzeyi ile sistem mimarisi arasında izlenebilir bir köprü kurulmuştur.

Bu çerçeve, tasarım yoluyla araştırma yaklaşımı içinde döngüsel biçimde işletilmiştir. Prototip geliştirme süreci tek seferlik bir doğrulama adımı gibi değil; sensör ayarlarının, eşik değerlerinin, zon sınıfı tanımlarının ve tektonik kararların tekrar tekrar test edilip güncellendiği bir süreç olarak kurgulanmıştır. A/B karşılaştırmaları, ablasyon deneyleri ve KPI-Q tabanlı algısal ölçümler v1 fiziksel doğrulamanın kapsamına alınmamış; referans mimari (v2) kapsamında değerlendirme planı olarak tarif edilmiştir (bkz. Bölüm 5.3). Buna karşılık KPI temelli çok ölçütlü ayar ve optimizasyon mantığı, bu tezde dijital ikiz ve simülasyon ortamında gösterimsel olarak yürütölmüş ve yöntemsel bütönlüğü destekleyen bir tasarım uzayı raporlama protokolü olarak raporlanmıştır.

Yöntemsel açıdan bir diğör katkı, farklı disiplinlerin araç setlerini aynı akışta buluşturmastır. Hesaplamalı tasarım tarafında Rhino ve Grasshopper, Kangaroo ve Galapagos ile işletilmiştir. Sensör tabanlı veri toplama ve gömölü sistem katmanı, FSR, IR ve kamera gibi bileşenlerle üzerinden tanımlanmış olup, v1 doğrulamasında yük sensörleri ve HX711'in Arduino seri akışı üzerinden yürütölen veri edinimi esas alınmıştır. Veri işleme ve analiz hattı Python ile desteklenmiştir. Dijital fabrikasyon tarafında fiziksel üretim v1 mikro-modölde PLA ile 3B baskı üzerinden gerçekleştirilmiştir (**Şekil 7.1**). Bununla birlikte önerilen panelizasyon ve üretim mantığı CNC gibi sayısal imalat süreçlerine uyarlanabilir biçimde kurulmuştur. Bu bütönlüşik ana eksen kurgusu, mimarlıkla birlikte endüstriyel tasarım, yeni medya sanatı ve malzeme bilimi gibi alanlarda çalışan araştırmacılar için yeniden kullanılabilir bir yöntem önerisi üretmektedir.



Şekil 7.1: v1 mikro modülün yüzey detayı.

7.4. Prototip ve Deneysel Bulguların Değerlendirilmesi

Tez kapsamında üretilen 20×20 cm ölçeğindeki modüler fiziksel prototip (v1), ZMEK çerçevesinin basınç ve ağırlık kanalında işletilebilir olduğunu işaret etmektedir. Arduino ve Grasshopper arayüzünde kurulan gerçek zamanlı veri akışı, dört adet yük hücresinden alınan ham kuvvet verisinin Denklem (6.6)'da formülleştirilen histerezisli eşikleme mantığıyla gürültüden ayrıştırılarak kararlı tetiklere dönüştürülebildiğine işaret etmektedir. Özellikle sol ve sağ zon bölgesi ayrımı üzerinden kurgulanan süperpozisyon denemelerinde, eşzamanlı çoklu temasların sistemde bir çatışma üretmediği tespit edilmiştir. Ağırlıklı toplam yaklaşımıyla hibrit bir karar yüzeyi üretilebildiği gözlemlenmiştir. Bu bulgu, önerilen karar mekanizmasının kolektif etkileşime ve eşzamanlı kullanıma kapalı bir kurgudan ziyade v1 ölçeğinde aynı anda birden fazla iz birikimini taşıyabildiğini düşündürmektedir.

Ek olarak gerçek zamanlı seri akışın Grasshopper güncellemeleriyle tutarlı biçimde çalışması, KPI-SYS kapsamında veri alımından karar güncellemesine kadar kapsanan döngünün deneysel olarak işletilebilir bir gecikme ve güncelleme ritminde sürdürülebildiğine işaret etmektedir.

V1 fiziksel doğrulama bulguları, Bölüm 5.3'te sabitlenen çekirdek KPI seti üzerinden işletim kanıtı olarak okunmaktadır. Referans mimari (v2) kapsamında tanımlanan geniş KPI çerçevesi ve çok ölçütlü değerlendirme yaklaşımı ise tezde bir performans değerlendirme planı olarak konumlandırılmıştır. Dolayısıyla bulgular, v1'in fiziksel

doğrulama çıktıları ve referans mimari senaryoları üzerinde yürütülen simülasyon tabanlı değerlendirmeler olarak iki düzlemde birlikte incelenmekte fakat, kanıt konumu karıştırılmadan ele alınmıştır. Galapagos optimizasyonu ve KPI değerlendirme, Grasshopper–Galapagos ortamında üretilmiş simülasyon tabanlı çıktılar üzerinden ilerlediğinden ötürü v1’in fiziksel bulgularıyla aynı noktada tutulmadan aşağıda ayrı bir alt başlıkta değerlendirilir.

7.4.1. V1 Çekirdek Doğrulamalar

V1 mikro-modül doğrulaması, çalışmanın doğrudan performans iddiası üretmesinden önce, ZMEK hattının fiziksel prototip üzerinde işletilebilir ve kararlı biçimde çalıştığını göstermeyi hedefleyen kanıt katmanıdır. Doğrulama yaklaşımı iki çekirdeğe dayanmaktadır: basınç ve ağırlık kanalında histerezisli eşikleme ilkesi kapsamında gürültü bandı altında aç–kapa salınımı üretmeden olay seçiminin sürdürebilmesi ve seçilen K kararlarının Kangaroo çözümünde üretilebilir bir denge konfigürasyonuna yakınsayabildiğini gösteren çözüm işlemi göstermesidir.

Bu doğrulama seti, KPI-E ile eşikleme kararlılığını; KPI-M ile şiddet, dalgalanma ve aktarım bileşenlerini; KPI-ZK ile komşuluk sonrası mekânsal tutarlılığı; KPI-SYS ile veri alımından karar güncellemesine uzanan döngünün güncelleme ritmini aynı kanıt hattında birlikte raporlar.

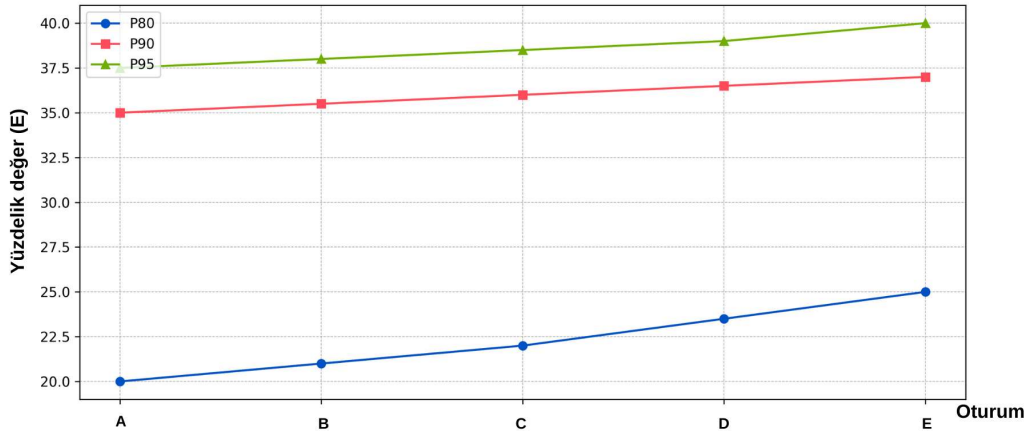
7.4.1.1. Eşikleme Doğrulamaları

V1 mikro modül ile elde edilen fiziksel bulgular, ZMEK hattının kararlı biçimde çalışabilmesi için özellikle eşikleme (E) düzeyinde belirleyici olmuştur. Histerezisli eşikleme ($E_{on} > E_{off}$) ile eşik çevresindeki mikro dalgalanmaların süregelen aç–kapa üretmesi azaltılmıştır. Bu sayede olay seçiminin tektonik güncellemeleri gereksiz biçimde tetikleyen bir salınım dönmemesi sağlanmıştır. Bu sonuç v1 doğrulamasında Basınç ve ağırlık kanalından türetilen süreklilik ile yük tepe davranışları üzerinden duraklama ve yığılma türü zon etiketlerinin okunabilir hâle gelmesi sağlanmıştır ve bu zonların rijitlik artışı gibi K kararlarına bağlanması, v1 ölçeğinde yöntemsel olarak tutarlı bir eşleşme olarak gözlemlenmiştir.

Boş sistem testlerinde panel üzerine hiçbir yük uygulanmadan dört yük hücresinin toplam çıktısı beş ayrı oturum üzerinden kaydedilmiştir. Her oturum için 80., 90. ve

95. yüzdeler (P80, P90, P95) hesaplanmış olup, **Şekil 7.2**'de görüldüğü üzere raporlanmıştır. Boş sistemde gürültü bandı yaklaşık olarak P80 için 20–25 E, P90 için 35–37 E, P95 için ise 37–40 E aralığında kaldığı gözlemlenmiştir. Bu bant, sistemin boşta çalışırken ürettiği taban gürültüyü ifade etmektedir.

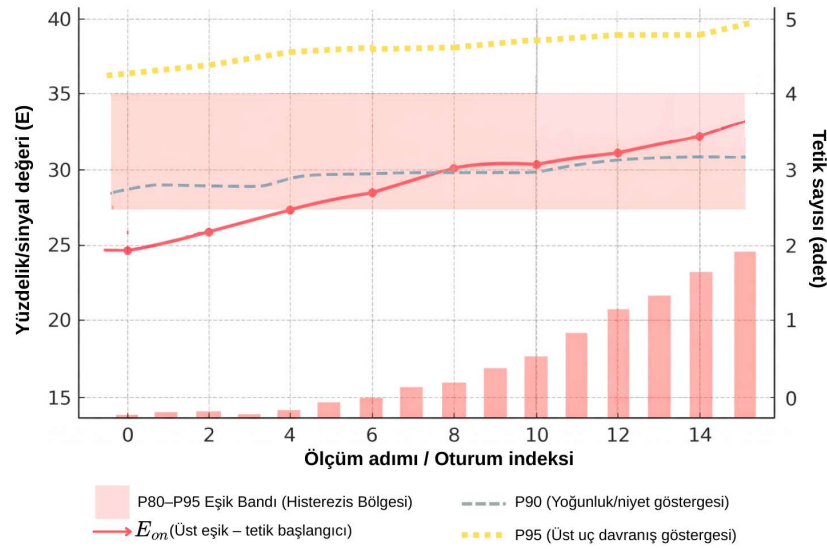
Bir sonraki adımda P80, P90 ve P95 eşiklerinin olay tetikleme davranışı üzerindeki etkisi ayrıca izlenmiştir. İkinci oturum için, her yüzdeler dilimine karşılık gelen eşik değeri (E) ile bu eşik üzerinde gerçekleşen tetik sayıları birlikte değerlendirildi. P80 eşik 20'den 25 E'ye çekildiğinde tetik sayısı 1'in altında kalmıştır. P90 için eşik yaklaşık 35'ten 37 E'ye yükselmesine rağmen tetik sayısı 4 değerine ulaşmıştır. P95 eşik değeri 37,5'ten 40 E'ye taşındığında beş tetik durumu gözlenmiştir. Bu dağılım, karar mekanizmasının alt yüzde 80'lik rutin dalgalanmaları büyük ölçüde olay dışı bıraktığını, etkin tetik bölgesinin ise P90–P95 bandı çevresinde yoğunlaştığını göstermektedir. Bu sebeple P90–P95 aralığı, ilerleyen aşamalarda kullanılan eşik bandı ve histerezisli karar mantığı için temel referans olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.2: Boş sistemde yük hücrelerinin toplam çıktısının P80, P90 ve P95 yüzdeleri ve gürültü bandı.

Her normalize edilmiş özellik için histerezisli eşikleme uygulanır. Basınç kanalında olayın tetiklenmesi için üst eşik E_{on} bandın üst ucuna (yaklaşık P95'e), olayın sönümlenmesi için alt eşik E_{off} bandın alt ucuna (yaklaşık P80'e) karşılık gelecek biçimde seçilmiştir. Bu bağlamda karar mekanizması alt yüzde 80'lik dalgalanmayı olay durumu olarak kabul etmemektedir. Sistem, üst sınırda oluşan kısa süreli aykırı sıçramaları tek başına olay tetikleyicisi olarak kabul etmez; tetik kararı bant ve histerezis koşulları birlikte sağlandığında üretilir. V1'de E_{on} ve E_{off} , boş sistem

dağılımına göre seçilen P80–P95 bandının 0–1 aralığında normalize edilmiş sinyal uzayındaki karşılığı olacak şekilde kalibre edilmiştir. Yüzdelik dilim mantığı korunurken uygulama normalize eşikler üzerinden yürütüldü. Bu kurgu, KPI-M kapsamında kullanılan B_{P90} gibi üst dilim özetlerin niyet teması daha dayanıklı biçimde taşıdığı gözlemlenmiştir. B_{var} dalgalanmayı, B_{asym} ’nin ise aktarım yönünü ayrıştırdığı metrik ailesi birlikte okunduğunda, olay seçimi (KPI-E) ile olayın şiddeti ve karakter bileşenlerinin (KPI-M) ayrışabildiği görülmektedir (Şekil 7.3).



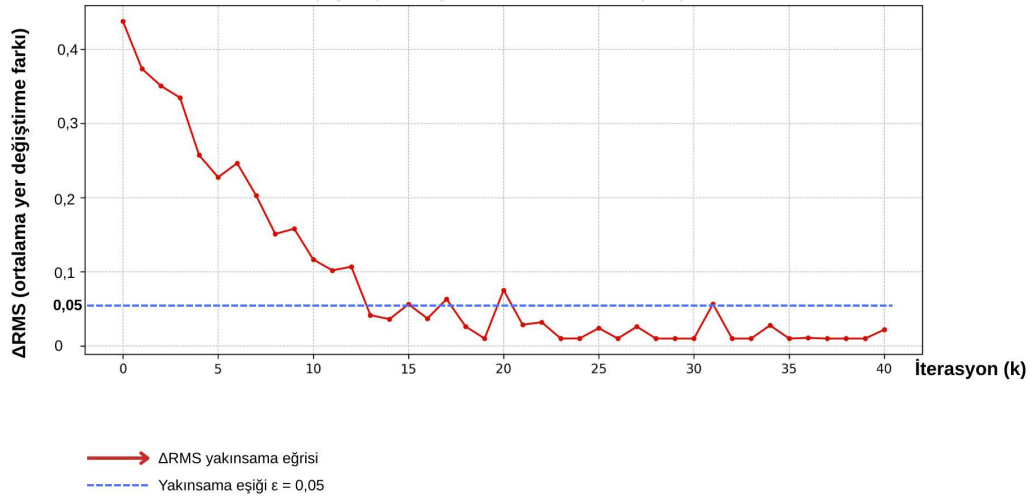
Şekil 7.3: Basınç kanalında histerezisli eşikleme için kullanılan karar bandı ile E_{on} , P90 ve P95 değerlerinin oturumlara göre değişimi.

V1 prototip doğrulamasında E_{on} ve E_{off} değerleri, 0–1 aralığına normalize edilen sinyal uzayında, kalibrasyonla belirlenmiş sabit eşikler olarak tanımlanmıştır. ($E_{on} = 0.10, E_{off} = 0.05$). Bu değerler yüzdelik değerlerin kendisinden ziyade prototipin gürültü düzeyi ve mekanik kararlılığına göre seçilmiş normalize eşikleri ifade etmektedir.

7.4.1.2. Kangaroo Yakınsaması: ΔRMS Eğrisi

V1 panelinin çözüm sürecinde, başlangıç iterasyonlarında görece yüksek olan ΔRMS yakınsama değeri ilk adımlarda hızlı biçimde azalmıştır. Yaklaşık 20–30. iterasyondan itibaren düşük bir banda yerleşerek plato davranışı sergilemiştir. Şekil 7.3’te sunulan ΔRMS yakınsama eğrisi, bu düşüşü görselleştirir ve çözümün seçilen yakınsama eşiği olan $\varepsilon = 0,05$ ’in altına inerek kararlı hâle geldiğini doğrulamaktadır.

ΔRMS 'nin iterasyonlarla birlikte azalması ve ε değerinin altında kalıcı biçimde seyretmesi, ZMEK kararları uygulanmış panel geometrisinin Kangaroo simülasyonunda geçici bir deformasyon olarak kalmadığını, mekanik olarak tutarlı ve üretime elverişli bir denge konfigürasyonuna oturduğunu göstermektedir (Şekil 7.4). V1 kapsamı doğrudan yapısal performans iddiası üretmek için sınırlı olsa da yakınsama bulgusu K kararlarının çözüm sırasında dağılmadan ve kararsızlık üretmeden çalıştığını işaret etmektedir. KPI-S grubunun tutarlılık ve kararlılık önkoşulu prototip ölçeğinde desteklenmektedir.



Şekil 7.4: ΔRMS yakınsama eğrisi.

7.4.2. Referans Mimari Üzerinden Çoklu Kanal Senaryoları

ZMEK modeli kuramsal olarak basınç, ısı ve hareket verilerini bütünleşik biçimde işleyecek şekilde kurgulanmıştır. Bu tezin fiziksel doğrulama aşamasında ise sistemin tepki hızı ve eşikleme mantığı, donanım karmaşıklığını yönetmek adına öncelikle en güvenilir kanal olan basınç ve yük üzerinden test edilmiştir. Isı (IR, termal) ile hareket kanalları, referans mimari kapsamında aynı düzlem ve zaman penceresinde hizalanabilir çoklu kanal senaryoları olarak tanımlanmıştır. Zon etiketleme ve karar eşleme mantığının bu kanallara genişletilebilirliği simülasyon temelli bir değerlendirme diliyle konumlandırılmıştır.

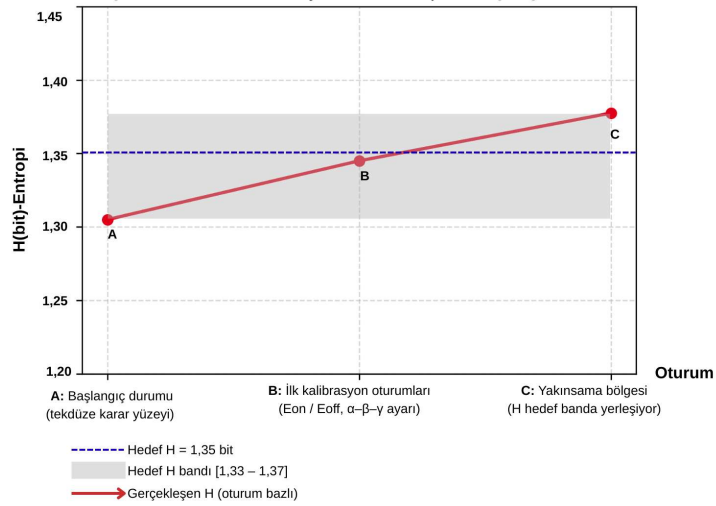
Bu ayırım, ZMEK'in önce çekirdek karar mantığını kararlı biçimde doğrulayıp, çoklu kanal birleşimlerini v2 kapsamındaki entegrasyon hedefi olarak ele alan aşamalı bir geliştirme hattı kurar. V2 değerlendirme planında performans okuması, Bölüm 5.3'te

sabitlenen KPI seti üzerinden yürütülecek olup, hareket kanalında KPI-A, termal kanalda KPI-C ve kullanıcı deneyiminde KPI-Q kullanılacaktır. Dolayısıyla v1’de doğrulanan işletim omurgası, v2’de üst düzey performans hipotezleriyle aynı KPI dili içinde ölçülebilir ve karşılaştırılabilir hâle gelir.

7.4.3. KPI Ve Optimizasyon Bulguları (Simülasyon Tabanlı)

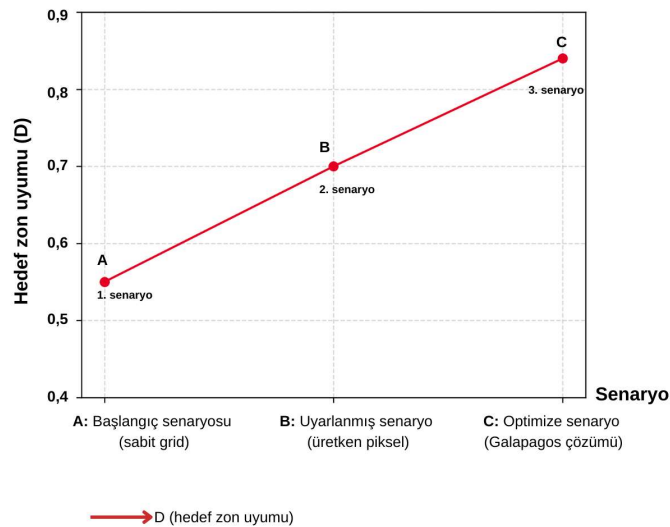
Bu alt başlıkta sunulan çıktılar, Bölüm 5.3.1’de tanımlanan KPI-H, KPI-D, KPI-T ve amaç fonksiyonu J’nin Bölüm 6.7’de sabitlenen normalizasyon ve ceza hattı üzerinden Galapagos ortamında çalıştırılmasıyla elde edilen simülasyon tabanlı sonuçlardır. Burada raporlanan değerler v1 fiziksel prototip ölçümlerini tanımlamamakla birlikte, dijital ikiz üzerinde yürütülen çok ölçütlü ayar ve arama rejiminin çıktıları olarak okunabilmektedir.

Denklem 6.9 ile hesaplanan heterojenlik H, karar sınıflarının yüzey üzerindeki dağılımını tek bir skaler değere indirgenmektedir. Optimizasyon sürecinde H’in jenerasyonlar boyunca artarak hedef banda yakınsadığı **Şekil 7.5**’te izlenmektedir. Bu durum zon kararlarının yüzeyde daha çeşitli bir tektonik dile dönüştüğünü nicel olarak desteklemektedir. Başlangıç durumunda sistem, görece tekdüze bir karar dağılımına karşılık gelen $H \approx 1.24$ bit seviyesinde gözlenmektedir. Eşik değerleri ve kanal ağırlıklarının jenerasyon bazlı yeniden ayarlanmasıyla H özellikle 4–6. jenerasyonlar arasında yükselir ve 1.30 bit eşiğini aşmaktadır. 7. jenerasyondan itibaren H, tanımlanan hedef bant $[1.33, 1.37]$ içine girmekte ve 12. jenerasyon civarında $H \approx 1.36$ bit çevresinde plato davranışı göstererek $H^* = 1.35$ bit hedefi etrafında kararlı bir rejime yerleşmektedir. Bu eğri, sistemin tek bir karara kilitlenmek yerine farklı zon etiketi ve K-karar tiplerini birlikte taşıyan daha çeşitli bir karar topolojisine evrildiğini gösterir.



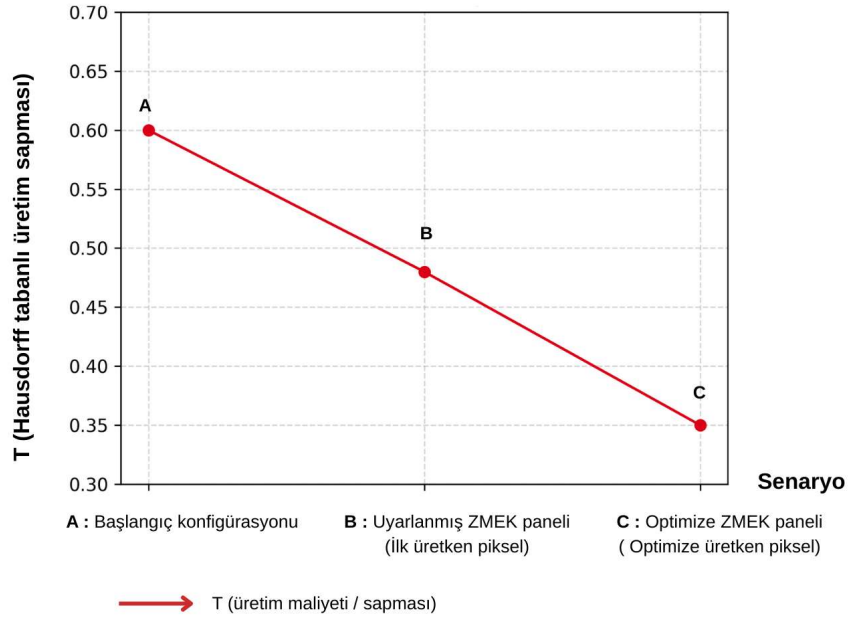
Şekil 7.5: Jenerasyonlara göre heterojenlik (H) ve hedef band [1.33–1.37] ($H^* = 1.35 \text{ bit}$).

Denklem 6.10’da tanımlanan hedef uyumu D, çıktı dağılımının referans hedef yaklaşımını ölçmektedir. **Şekil 7.5**’te üç farklı konfigürasyon için hesaplanan D değerleri yer almakta olup, Başlangıç konfigürasyonunda $D \approx 0.60$ düzeyinde olan uyum, eşiklerin ve kanal ağırlıklarının uyarlanmasıyla ara konfigürasyonda $D \approx 0.75$ seviyesine yükseldiği gözlemlenmektedir. Galapagos optimizasyonu sonrasında elde edilen konfigürasyonda $D \approx 0.85$ değerine ulaşılmaktadır. Zon etiketlerinin dağılımının hedeflenen referans dağılıma belirgin biçimde yaklaştığı gözlemlenmektedir. Bu çıktı, ZMEK’in senaryo bazlı performans örüntülerine doğru yönlendirilebilir bir ayar mantığı sunduğunu göstermektedir (**Şekil 7.6**).



Şekil 7.6: Farklı konfigürasyonlar için hesaplanan hedef zon dağılım uyumu D değerleri.

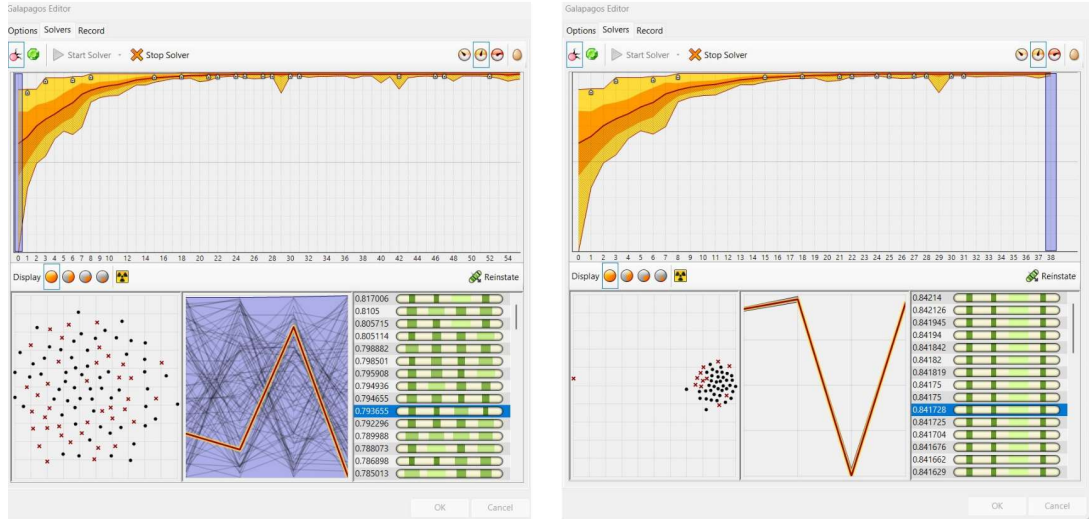
T metriği, üretilebilirlik ve montaj karmaşıklığındaki değişimi izlemek için raporlanmaktadır. Optimizasyonun T'yi düşüren yönde baskın bir eğilim göstermesi, performans iyileşmesinin üretim maliyeti ters orantıda etkileyecek kontrolsüz büyüme göstermediğini işaret etmektedir. Uyarlanmış konfigürasyonda eşik ve karar ayarlarının rasyonelleşmesiyle birlikte T'nin düştüğü gözlenmektedir. Bu eğilim, aramanın H ve D'yi artırırken üretilebilirlik (T) gereksinimleriyle uyumlu, uygulanabilir çözümlere yöneldiğini göstermektedir (Şekil 7.7).



Şekil 7.7: Farklı ZMEK senaryoları için normalleştirilmiş üretim sapması T değerlerinin değişimi.

Çok ölçütlü amaç fonksiyonu J, Denklem 6.12'de H ve D bileşenlerini artırmayı, T bileşenini ise azaltmayı hedefleyen bileşik bir uygunluk ölçütü olarak tanımlanmıştır. Galapagos optimizasyonu sonucunda J'nin jenerasyonlara göre değişimi Şekil 7.7'de ele alınmaktadır. İlk jenerasyonlarda J yaklaşık 0,40–0,45 bant aralığında gözlemlenmekte olup, bu evre daha düşük performanslı çözümlerin baskın olduğu başlangıç rejimine karşılık gelmektedir. 10–20. jenerasyonlar arasında J değerinde belirgin bir artış gözlenmektedir. 30. jenerasyon sonrasında eğri yaklaşık olarak 0,84 değerine yaklaşarak plato davranışı sergilemektedir. Bu öğrenme eğrisi, aramanın tek bir ölçütü maksimize etmekten ziyade çeşitlilik (H), hedef uyumu (D) ve üretilebilirlik (T) arasında tanımlanan çok ölçütlü denge bölgesine evrimsel olarak yakınsadığını

göstermektedir. Plato sonrasında görülen küçük salınımlar ise, aramanın yerel iyileştirme sınırına yaklaştığını ve H-D-T ödünleşimi içinde kararlı bir bantta ilerlediğini düşündürmektedir (Şekil 7.8).



Şekil 7.8: Galapagos optimizasyon sürecindeki öğrenme eğrisi.

7.4.4. V1 Fiziksel Bulguların ve Simülasyon Tabanlı KPI Bulgularının Birlikte Okunması

Bu birlikte okuma, v1 fiziksel doğrulama bulgularını çalışabilirlik kanıtı, simülasyon tabanlı KPI ve optimizasyon çıktısını ise tasarım uzayı ile ayar mantığının gösterimi olarak ele almaktadır. V1, çekirdek işletimin sahada çalıştığını gösterirken, simülasyon katmanı ise aynı işletimin farklı öncelikler altında ayarlanabilir bir rejime dönüştüğünü görünür kılmaktadır.

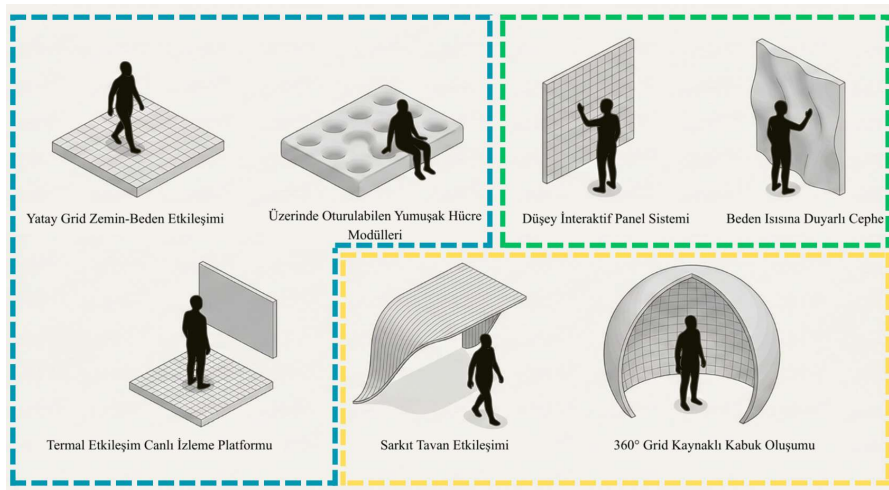
KPI bulguları, üretken piksel yaklaşımının farklı tasarım öncelikleri altında ayar alabilen bir karar mekanizması olduğunu destekler. Heterojenlik H yüksek tutulduğunda grid yüzeyde daha parçalı ve farklılaşmış bir tektonik dil oluşmaktadır. Bu durum deneysel ve enstalasyon senaryoları için daha geniş bir ifade alanı üretmektedir. Hedef uyumu D ve maliyet T öne çıkarıldığında ise daha kontrollü, üretimi görece kolay ve belirli bir performans örüntüsüne yakın çözümler elde edilmektedir. Burada kritik nokta, çeşitlilik artarken kararın yüzeyde salt gürültü gibi dağılmamasıdır. Komşuluk sonrası tutarlılık (KPI-ZK), tekil parlamaların zon ve karar

sıçramasına dönüşmesini sınırlayarak heterojenliğin okunabilir bir tektonik dile evrilmesi için stabilizasyon katmanı olarak çalışır.

İki katmanlı doğrulama kurgusu hipotezlerin kanıt durumlarını netleştirmektedir: H3 (yapısal ve üretimsel verim) hipotezinin basınç ve ağırlıkla ilişkili alt bileşenleri v1 fiziksel prototip üzerinde doğrudan desteklenmiştir. Yük tepe davranışı ve süreklilik pencereleri üzerinden rijitlik ve bağ kararlarının belirli zon etiketlerinde, dolayısıyla belirli hücre (Z) kümelerinde yoğunlaştığı okunmaktadır. Histerezisli eşikleme ($E_{on} > E_{off}$) ile eşik çevresindeki mikro dalgalanmaların ürettiği karar salınımı bastırılmış, tektonik tepkilerin gereksiz aç-kapa üretmesi sınırlandırılmıştır. Buna karşılık H1 (akışkanlık) ve H2 (algısal konfor) hipotezlerinin hareket ve ısı kanallarına dayanan bileşenleri v1 donanım kapsamı dışında kaldığı için bu eksenler referans mimari ve dijital ikiz katmanında senaryo temelli bir değerlendirme diliyle konumlandırılmıştır. Hareket ve ısı katmanlarının fiziksel entegrasyonu, eşzamanlı tetiklerin test edilmesi ve kanal ağırlıklarının sahada kalibrasyonu v2 entegrasyon hedefi olarak bırakılmıştır.

7.5. Uygulama Alanları, Etkiler ve Disiplinler Arası Yayılım

Bu tezde geliştirilen yaklaşım, tek bir prototip örneğiyle sınırlandırılmayan, ölçek ve bağlam değiştiğinde yeniden kurulabilen bir potansiyel oluşumları göstermektedir. Beden verisiyle yerinde ayarlanabilen grid yüzeyler, kentsel mekânda kent mobilyası, kamusal zemin, geçici yapı, sergi tasarımları ve yeni medya enstalasyonları gibi farklı pratik alanlara taşınabilir. Bu sayede kentle etkileşimli üretim, kullanıcı verisiyle güncellenebilen somut yüzey prototipleri üzerinden denenebilir hâle gelir (Şekil 7.9).



Şekil 7.9: Beden-mekân etkileşimine dayalı yüzey tipoloji örnekleri.

Mimarlık ve tasarım açısından projenin katkısı, beden verisinin tasarım girdisi olarak işletilebilir bir karara çevrilmesi üzerinden temellenmektedir. Hareket, ısı ve basınç gibi fiziksel veriler ölçülebilir metriklerle bağlanır. Bu metrikler, eşik bandı ve histerezis üzerinden kararlı bir olay seçimi rejimine taşınır. Seçilen olaylar, tektonik karar aileleriyle ilişkilendirilir. Böylece tasarım süreci, salt sezgisel tercihlerden çıkarak kontrollü denemelere ve veri temelli ayar alma kapasitesine yaklaşır. Nitekim, hesaplamalı tasarım, beden–mekân ilişkisi ve malzeme odaklı araştırmalar arasında eklemlenebilen ve yeniden kullanılabilir bir model olarak okunabilir.

Toplumsal ve kültürel ölçekte, kullanıcı verisiyle güncellenebilen kamusal mekân fikri belirgin bir etki alanı açar. Kullanım örüntülerini dikkate almayan statik kent mobilyaları ve zeminler yerine, belirli senaryolara göre kendini ayarlayabilen modüler prototipler; konfor, yönelme, bekleme cepleri ve mikro iklim gibi gündelik ihtiyaçlara daha duyarlı bir kamusal alan üretimini destekleyebilir. Bu çerçevede, kültür ve sanat temelli kamusal enstalasyonlardan veriyle biçimlenen yeni nesil kentsel yüzey tasarımlarına kadar geniş bir aralıkta işletilebilir.

Dijital fabrikasyon ve çevreye duyarlı malzeme seçimleriyle birlikte düşünüldüğünde yaklaşım, sürdürülebilirlik ve dijital dönüşüm başlıklarıyla da kesişmektedir. Modüler, sökülüp takılabilir ve yeniden yapılandırılabilir prototipler hem üretim ekonomisi hem de bakım ve yeniden kullanım açısından ölçeklenebilir bir hat önerir. Bu sebeple çalışma, kentsel mekânın veri temelli yeniden üretimine yönelik kuramsal çerçeveyi prototip ve üretim mantığı üzerinden deneysel bir zemine bağlamaktadır.

7.6. Sınırlılıklar ve Çıkarımlar

Tez kapsamında önerilen yaklaşım, sınırlı sayıda senaryo ve kontrollü bir ortam içinde, belirli bir grid geometrisi üzerinde test edilmiştir. Dolayısıyla farklı mekân tiplerine, farklı kullanıcı profillerine ve özellikle yoğun kalabalık senaryolarına ilişkin genelleme iddiası sınırlı kalmaktadır. Teknik eksende sensörleri doğruluk sınırları, zaman gecikmeleri ve malzemenin zaman bağımlı davranışı, ölçüm güvenilirliğini ve fiziksel çıktının tekrarlanabilirliğini etkileyebilmektedir. Ayrıca v1 doğrulaması çekirdek olarak yük kanalında yürütülmüş olup, ısı ve hareket kanallarının fiziksel entegrasyonu referans mimari kapsamında bir genişletme hedefi olarak konumlandırılmıştır.

7.6.1 Teknik Sınırlılıklar

Teknik sınırlılıklar dört başlık altında toplanmaktadır. İlk olarak, sensör kaynaklı gürültü ve gecikme etkileridir. FSR matrislerinde lineer olmayan yanıt eğrileri, termal katmanda gecikme ve çözünürlük sınırları, optik akış hesaplamalarında gürültü ve kararlılık sorunları ölçüm kesinliğini doğrudan etkileyebilmektedir. İkinci olarak, uzamsal hizalama varsayımlarının sınırlılık durumu ele alınabilmektedir. Homografi ile düzlem varsayımına dayalı eşleşme mantığı, derinlik değişimlerinin belirginleştiği durumlarda hata üretebilmekte ve çoklu kanal verinin aynı referans düzleme taşınmasını zorlaştırabilmektedir. Üçüncü olarak, malzemenin zaman bağımlı mekanik davranışları düşünülebilmektedir. Sünme ve gerilme gevşemesi, özellikle ince kabuk elemanlar ve fin bağlantılarında öngörülenden farklı deformasyonlar doğurarak simülasyon ve prototip uyumunu zayıflatmaktadır. Dördüncü olarak ise üretim ve montaj toleransları ele alınabilmektedir. 3B baskı toleransları, bağlantı gevşemeleri ve sahadaki kurulum koşulları panelizasyonun tekrarlanabilirliğini ve ölçüm-tepki ilişkisinin kararlılığını etkileyebilmektedir. Bu sınırlılıklar, simülasyon çıktılarının fiziksel prototip üzerinde tekrarlayan doğrulamalarla değerlendirilmesini ve gerekli durumlarda ZMEK parametrelerinin yeniden kalibre edilmesini zorunlu hale getirir.

7.6.2 Risk Azaltım Stratejileri ve Etik Çıkarımlar

Bu sınırlılıklara karşı geliştirilen risk azaltım stratejileri, sinyal işleme kararlılığı ve prototip güvenliği eksenlerinde kurgulanmıştır. Ölçüm gürültüsü ve kısa süreli sahte tetikler, histerezisli eşikleme ve komşuluk yumuşatma gibi karar stabilizasyon adımlarıyla dengelenmektedir. Ayrıca pencereleme ve temel filtreleme rejimleriyle gürültü durumu bastırılabilir. Çoklu kanal senaryolarında tek bir kanala aşırı bağımlılık riskini azaltmak amacıyla sensör füzyonu yaklaşımı ve kanal ağırlıklarının senaryo bazlı yeniden ayarlanması benimsenmektedir. Üretim ve montaj kaynaklı sapmalar için mikro ölçekli ön prototipler üzerinden tolerans kalibrasyonu yapılması, gerekli durumlarda KPI tanımlarının güncellenmesi ve amaç fonksiyonuna güvenlik terimlerinin eklenmesi gibi önlemler değerlendirilmektedir.

Etik ve uygulama boyutunda ise, kullanıcı verisiyle çalışan sistemlerde ölçüm kapsamının, görünürlük düzeyinin ve yeniden kullanım koşullarının açık biçimde

tanımlanması gerekmektedir. Anonimleştirme, bilgilendirilmiş onam ve saha güvenliği ilkeleri tasarım yaklaşımının bir ilkesi olarak korunmalıdır.

7.7 Gelecek Çalışmalar ve Yeni Proje Önerileri

Bu tez, üretken piksel yaklaşımını beden ölçeğinde sınayan bir başlangıç adımı olarak değerlendirilebilir. Gelecek çalışmaların bir ekseni, yöntem çerçevesinin genişletilmesi ve veri kanallarının çeşitlendirilmesidir. Ses, biyometrik sinyaller ve gibi ek veri türlerinin ZMEK çerçevesine dahil edilmesi, beden–mekân etkileşiminin daha zengin bir veri uzayı üzerinden okunmasını mümkün kılabilir. Aynı zamanda farklı grid topolojileri (üçgen, kare) ve farklı malzeme sistemleri (esnek kompozitler, akıllı malzemeler) üzerinden üretken piksel kavramının test edilmesi, yöntemin genellenebilirliğini test etmek açısından önem taşımaktadır.

Bir diğer eksen, ölçek bağlamında iç mekândan kentsel mekâna geçiştir. Geçici pavyonlar, köprüler, meydan zeminleri ve kıyı promenadları gibi alanlarda kullanıcı hareketi ve toplu davranışı dikkate alan üretken piksel prototipleri geliştirilebilir. Bu tür çalışmalar, sadece deneyimsel ve estetik çıktılardan ziyade kalabalık yönetimi, yönlendirme, gölgeleme ve mikro iklim düzenlemesi gibi işlevsel hedeflere de veri destekli çözümler üretebilir. Kentsel ölçekte ölçekleme, eyleyici parametrelerin üretim toleransları, işletim senaryoları ve güvenlik kısıtlarıyla birlikte yeniden tanımlanmasını gerekli kılar.

Sonuç olarak bu çalışma, beden verisini grid tabanlı bir yüzeyde karar üreten birimlere dönüştüren üretken piksel kavramını kuramsal, yöntemsel ve prototip düzeyinde birlikte tartışmaya açmaktadır. Elde edilen bulgular, mekânın sabit bir kabuk değil; bedensel ritimlerle kalınlaşıp incelen bir karar yüzeyi olarak okunabileceğini ve bu karar yüzeyinin sensör verisi, eşik mantığı ve hesaplamalı geometri aracılığıyla somut tasarım müdahalelerine dönüştürülebileceğini göstermektedir. Gelecek çalışmalar, bu çerçevenin farklı ölçeklerde, kentsel bağlamlarda ve disiplinlerde zenginleştirilmesine odaklanacaktır.

KAYNAKLAR

- Allen, S. (1999). *Points + lines: Diagrams and projects for the city*. Princeton Architectural Press.
- Arakawa, S., & Gins, M. (2002). *Architectural body*. University of Alabama Press.
- Åström, K. J., & Murray, R. M. (2008). *Feedback systems: An introduction for scientists and engineers*. Princeton University Press.
- Avia Semiconductor. (t.y.). *HX711: 24-Bit analog-to-digital converter (ADC) for weigh scales* [ss.].
- Baker, A. (2016). Simplicity. E. N. Zalta (Eds.), *The Stanford encyclopedia of philosophy* (Kış 2016 baskısı) içinde. Stanford University.
- Barad, K. (2003). *Posthumanist performativity: Toward an understanding of how matter comes to matter*. *Signs: Journal of Women in Culture and Society*, 28(3), 801–831.
- Beesley, P. (Eds.). (2010). *Hylozoic ground: Liminal responsive architecture*. Riverside Architectural Press.
- Bendat, J. S., & Piersol, A. G. (2010). *Random data: Analysis and measurement procedures* (4.baskı). John Wiley & Sons.
- Boettger, T. (2014). *Threshold spaces: Transitions in architecture*. Birkhäuser.
- Butler, J. (1999). *Gender trouble: Feminism and the subversion of identity*. Routledge.
- Colquhoun, A. (1981). *Essays in architectural criticism: Modern architecture and historical change*. MIT Press.
- Davies, E. (2006). *Beyond dance: Laban's legacy of movement analysis*. Routledge.
- De Certeau, M. (1984). *The practice of everyday life* (S. Rendall, Çev.). University of California Press.
- DeLanda, M. (2016). *Assemblage theory*. Edinburgh University Press.
- Dolphijn, R., & van der Tuin, I. (2012). *New materialism: Interviews & cartographies*. Open Humanities Press.
- Dovey, K. (1999). *Framing places: Mediating power in built form*. Routledge.
- Dörfler, K., Knippers, J., Menges, A., Parascho, S., Pottmann, H., & Wortmann, T. (Eds.). (2023). *Advances in architectural geometry 2023*. De Gruyter.

- Eliot, T. S. (1920). Tradition and the individual talent. In *The sacred wood: Essays on poetry and criticism*. Methuen.
- Evans, R. (1997). *The projective cast: Architecture and its three geometries*. MIT Press.
- Foucault, M. (1977). *Discipline and punish: The birth of the prison* (A. Sheridan, Çev.). Pantheon.
- Frazer, J. (1995). *An evolutionary architecture*. Architectural Association, MIT Press.
- Frayling, C. (1993). *Research in art and design* (Royal College of Art Research Papers). Royal College of Art.
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Houghton Mifflin.
- Goldberg, D. E. (1989). *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. Addison-Wesley.
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). *Digital image processing* (4.baskı). Pearson.
- Gorbet, M. (2010). Distributed intelligence in *Hylozoic Ground*. In P. Beesley (Ed.), *Hylozoic Ground: Liminal responsive architecture*. Riverside Architectural Press.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press.
- Groat, L. N., & Wang, D. (2013). *Architectural research methods* (2. baskı). John Wiley & Sons.
- Grosz, E. (2001). *Architecture from the outside: Essays on virtual and real space*. MIT Press.
- Hartley, R., & Zisserman, A. (2004). *Multiple view geometry in computer vision* (2. baskı). Cambridge University Press.
- Hansen, M. B. N. (2006). *Bodies in code: Interfaces with digital media*. Routledge.
- Hayles, N. K. (1999). *How we became posthuman: Virtual bodies in cybernetics, literature, and informatics*. University of Chicago Press.
- Hillier, B., & Hanson, J. (1984). *The social logic of space*. Cambridge University Press.
- Horn, B. K. P., & Schunck, B. G. (1981). Determining optical flow. *Artificial Intelligence*, 17(1–3), 185–203.
- Horowitz, P., & Hill, W. (2015). *The art of electronics* (3.baskı). Cambridge University Press.
- Huber, P. J., & Ronchetti, E. M. (2009). *Robust statistics* (2. baskı). Wiley.

- Huttenlocher, D. P., Klanderman, G. A., & Rucklidge, W. J. (1993). Comparing images using the Hausdorff distance. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 15(9), 850–863.
- Katyal, V., Geiger, R. L., & Chen, D. J. (2008). Adjustable hysteresis CMOS Schmitt triggers. IEEE.
- Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1976). *Decisions with multiple objectives: Preferences and value tradeoffs*. John Wiley & Sons.
- Kitchin, R., & Dodge, M. (2011). *Code/space: Software and everyday life*. MIT Press.
- Krauss, R. (1979). Grids. *October*, 9, 50–64. <https://doi.org/10.2307/778321>
- Laban, R. (1966). *Choreutics* (L. Ullmann, Eds.). Macdonald & Evans.
- Le Corbusier. (2007). *Toward an architecture* (J. Goodman, Çev.). Getty Research Institute. (Orijinal çalışma basım tarihi 1923)
- Lefebvre, H. (1991). *The production of space* (D. Nicholson-Smith, Çev.). Blackwell. (Orijinal çalışma basım tarihi 1974)
- Lefebvre, H. (2004). *Rhythmanalysis: Space, time and everyday life* (S. Elden & G. Moore, Çev.). Continuum. (Orijinal çalışma basım tarihi 1992)
- Lucas, B. D., & Kanade, T. (1981). An iterative image registration technique with an application to stereo vision. İçinde *Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI '81)* (ss. 674–679).
- Lynch, K. (1960). *The image of the city*. MIT Press.
- Manovich, L. (2001). *The language of new media*. MIT Press.
- Marr, D., & Hildreth, E. (1980). Theory of edge detection. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 207(1167), 187–217.
- Martínez Sánchez, M. J. (2021). *Dynamic cartography: Body, architecture, and performative space* (Routledge Advances in Theatre and Performance Studies). Routledge.
- Masuda, N., Porter, M. A., & Lambiotte, R. (2017). Random walks and diffusion on networks. *Physics Reports*, 716–717, 1–102.
- Massumi, B. (2002). *Parables for the virtual: Movement, affect, sensation*. Duke University Press.
- Menges, Correa, D., Krieg, O. D., A., Reichert, S., & Rinderspacher, K. (2013). *HygroSkin: A prototype project for the development of a constructional and climate responsive architectural system based on the elastic and hygroscopic properties of wood*. In *Adaptive Architecture: Proceedings of ACADIA 2013* (pp. 33–42).

- Merleau-Ponty, M. (2012). *Phenomenology of perception* (D. A. Landes, Çev.). Routledge. (Orijinal çalışma basım tarihi 1945)
- Middleton, L., & Sivaswamy, J. (2005). *Hexagonal image processing: A practical approach*. Springer.
- Miettinen, K. (1999). *Nonlinear multiobjective optimization*. Kluwer Academic Publishers.
- Montoliu, R., Blom, J., & Gatica-Perez, D. (2010). Discovering places of interest in everyday life from smartphone data. İçinde *Proceedings of the 9th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (MUM '10)*. ACM.
- Moore, E. F. (1962). Machine models of self-reproduction. *Proceedings of Symposia in Applied Mathematics*, 14.
- Nejur, A. (2023). Taming the deviation: A disjointed-face planarity solution for managing deviation in discretization. İçinde K. Dörfler, J. Knippers, A. Menges, S. Parascho, H. Pottmann, & T. Wortmann (Eds.), *Advances in architectural geometry 2023* (ss. 2–13). De Gruyter.
- Newell, K. M. (1986). Constraints on the development of coordination. İçinde M. G. Wade & H. T. A. Whiting (Eds.), *Motor development in children: Aspects of coordination and control* (ss. 341–360).
- Newlove, J., & Dalby, J. (2003). *Laban for all*. Nick Hern Books.
- Newman, M. E. J. (2010). *Networks: An introduction*. Oxford University Press.
- Norberg-Schulz, C. (1980). *Genius loci: Towards a phenomenology of architecture*. Rizzoli.
- OECD. (2023). *Glossary of key terms in evaluation and results-based management for sustainable development* (Second Edition). Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Oppenheim, A. V., & Schaffer, R. W. (2010). *Discrete-time signal processing* (3.baskı). Pearson.
- Pallasmaa, J. (2005). *The eyes of the skin: Architecture and the senses* (2. baskı). Wiley.
- Petersen, D. P., & Middleton, D. (1962). Sampling and reconstruction of wave number-limited functions in N-dimensional Euclidean spaces. *Information and Control*, 5, 279–323.
- Relph, E. (1976). *Place and placelessness*. Pion.
- Rowe, C. (1976). *The mathematics of the ideal villa and other essays*. MIT Press.

- Sahr, K. (2011). Hexagonal discrete global grid systems for geospatial computing. *Archives of Photogrammetry, Cartography and Remote Sensing*, 22, 363–376.
- Sayın, Z. (2024). *Çizginin boşluğu*. Metis Yayınları.
- Schmitt, O. H. (1938). A thermionic trigger. *Journal of Scientific Instruments*, 15(1), 24–26.
- Schön, D. A. (1983). *The reflective practitioner: How professionals think in action*. Basic Books.
- Sennett, R. (2022). *Taş ve ten: Batı uygarlığında beden ve şehir* (T. Birkan, Çev.), Metis Yayınları.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27, 379–423, 623–656.
- Shields, R. (1999). *Lefebvre, love and struggle: Spatial dialectics*. Routledge.
- Sloterdijk, P. (2011). *Spheres I: Bubbles* (W. Hoban, Çev.). Semiotext(e). (Orijinal çalışma basım tarihi 1998).
- Sloterdijk, P. (2014). *Spheres II: Globes* (W. Hoban, Çev.). Semiotext(e). (Orijinal çalışma basım tarihi 1999).
- Sloterdijk, P. (2016). *Spheres III: Foams* (W. Hoban, Çev.). Semiotext(e). (Orijinal çalışma basım tarihi 2004).
- Soja, E. W. (1996). *Thirdspace: Journeys to Los Angeles and other real-and-imagined places*. Blackwell.
- Taubin, G. (1995). Curve and surface smoothing without shrinkage. İçinde *Proceedings of the 5th International Conference on Computer Vision* (ss. 852–857). IEEE.
- Teyssot, G. (2008). Architecture as membrane. In R. Geiser (Eds.), *Explorations in architecture: Teaching, design, research* (ss. 166–175). Birkhäuser.
- Tschumi, B. (1996). *Architecture and disjunction*. MIT Press.
- Tukey, J. W. (1977). *Exploratory data analysis*. Addison-Wesley.
- Varela, F. J., Thompson, E., & Rosch, E. (1991). *The embodied mind: Cognitive science and human experience*. MIT Press.
- Von Neumann, J. (1966). *Theory of self-reproducing automata* (A. W. Burks, Eds.). University of Illinois Press.

Web 1, (2025), HygroSkin – Meteorosensitive Pavilion. <https://www.archdaily.com/424911/hygroskin-meteorosensitive-pavilion-achim-menges-architect-in-collaboration-with-oliver-david-krieg-and-steffen-reichert> (Erişim Tarihi: 29/11/2025).

Web 2, (2026), HX711 load cell digital weighing scale Arduino tutorial. <https://lastminuteengineers.com/hx711-load-cell-digital-weighing-scale-arduino-tutorial/> (Erişim Tarihi: 16/01/2026).

Zhang, Z. (2000). A flexible new technique for camera calibration. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(11), 1330–1334.

ÖZGEÇMİŞ

Yasin Kağan ODABAŞI, 2018 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2018-2019 eğitim döneminde Erasmus Değişim Öğrencisi olarak Universidad de Granada’da bir yıl boyunca eğitim aldı. 2021 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık bölümünden Çift anadal öğrencisi olarak mezun oldu. 2021 yılından beri mimarlık ve sanat disiplinlerinin kesişiminde; beden, mekân ve dijital üretim ilişkilerine odaklanan çalışmalar yürütmektedir. Hesaplamalı tasarım, etkileşimli enstalasyonlar ve fiziksel prototipleme ekseninde araştırmalar yapmaktadır.

TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR

Odabaşı, Y. K., Cimşit Koş, F., & Demirel Temel, S. (2025, Mayıs 26–27). Kentsel mekânın performatif arayüzleri ve beden-mekân etkileşimi bağlamında üretken piksel kavramı [Sözlü sunum]. 9. Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye.