

Fen Bilimleri ve Matematik Üzerine Disiplinlerarası Çalışmalar - II

Editör: Prof. Dr. Femin YALÇIN KÜÇÜKBAYRAK

ÖZGÜR
YAYINLARI

Fen Bilimleri ve
Matematik Üzerine
Disiplinlerarası
Çalışmalar - II

Editör:

Prof. Dr. Femin YALÇIN KÜÇÜKBAYRAK



Published by

Özgür Yayın-Dağıtım Co. Ltd.

Certificate Number: 45503

📍 15 Temmuz Mah. 148136. Sk. No: 9 Şehitkamil/Gaziantep

☎ +90.850 260 09 97

📞 +90.532 289 82 15

🌐 www.ozgur yayinlari.com

✉ info@ozgur yayinlari.com

Fen Bilimleri ve Matematik Üzerine Disiplinlerarası Çalışmalar - II

Editor: Prof. Dr. Femin YALÇIN KÜÇÜKBAYRAK

Language: Turkish-English

Publication Date: 2026

Cover design by Mehmet Çakır

Cover design and image licensed under CC BY-NC 4.0

Print and digital versions typeset by Çizgi Medya Co. Ltd.

ISBN (PDF): 978-625-8998-13-9

DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub1267>



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0). To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>
This license allows for copying any part of the work for personal use, not commercial use, providing author attribution is clearly stated.

Suggested citation:

Yalçın Küçükbayrak, F. (ed) (2026). *Fen Bilimleri ve Matematik Üzerine Disiplinlerarası Çalışmalar - II*. Özgür Publications. DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub1267>. License: CC-BY-NC 4.0

The full text of this book has been peer-reviewed to ensure high academic standards. For full review policies, see <https://www.ozgur yayinlari.com/>



Ön Söz

Bilimsel bilginin hızla geliştiği ve disiplinler arası etkileşimin giderek daha fazla önem kazandığı günümüzde, fen bilimleri ve matematik alanlarında gerçekleştirilen çalışmalar, yalnızca teorik çerçevede kalmayıp aynı zamanda gerçek dünya problemlerine çözüm üretme noktasında da kritik bir rol üstlenmektedir. Bu bağlamda, disiplinlerarası yaklaşımlar; karmaşık sistemlerin anlaşılması, yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve sürdürülebilir çözümlerin ortaya konulması açısından vazgeçilmez hale gelmiştir.

“Fen Bilimleri ve Matematik Üzerine Disiplinlerarası Çalışmalar” serisinin ikinci cildi, bu anlayış doğrultusunda hazırlanmış olup, farklı disiplinlerin kesişiminde yer alan güncel ve özgün araştırmaları bir araya getirmektedir. Kitapta yer alan bölümler; matematiksel modelleme ve dinamik sistemler kuramından kuantum hesaplama, yapı mühendisliğinden deprem sonrası sürdürülebilirlik ve çevresel etkilere kadar geniş bir yelpazede ele alınmıştır.

Bu yönüyle kitap, yalnızca akademik birikimi artırmakla kalmayıp aynı zamanda toplumsal faydaya yönelik çözüm önerileri geliştirmeyi de hedeflemektedir. Bu eserin, fen bilimleri ve matematik alanlarında çalışan akademisyenler, araştırmacılar ve lisansüstü öğrenciler için yeni düşünme biçimleri ve perspektifler geliştirmeye katkı sağlaması amaçlanmıştır.

Bu eserin hazırlanmasında emeği geçen tüm değerli yazarlara ve araştırmacılara teşekkür eder; kitabın bilimsel literatüre katkı sağlamasını temenni ederim.

Editör

Prof. Dr. Femin YALÇIN KÜÇÜKBAYRAK

İçindekiler

Ön Söz

iii

Bölüm 1

Neimark-Sacker Bifurcation in a Nonstandart Finite Difference Discretized
Financial System 1

Fatma Iscan

Bölüm 2

Yapı Mühendisliğinde Kuantum Hesaplama: Gelecek Uygulamalar İçin
Teorik Bir Çerçeve 15

Filiz Kolcu

Bölüm 3

İslahiye’de Depreme Dayanıklı Bina Tasarımı: Yerel Malzeme, Zemin
Koşulları ve Sürdürülebilirlik Açısından Bir Değerlendirme 25

Filiz Kolcu

Bölüm 4

Deprem Sonrası İslahiye’de Ekolojik Denge ve Yeniden Yapılanma 41

Filiz Kolcu

Neimark-Sacker Bifurcation in a Nonstandart Finite Difference Discretized Financial System

Fatma Iscan¹

Abstract

Neimark-Sacker bifurcation theory is used to analyze a differential equation system. A three dimensional continuous time system is investigated here. Generally, forward Euler scheme is used for discretization from continuous time system to discrete time system. But, in this study Nonstandard Finite Difference (NSFD) scheme is applied to discrete the continuous time system to discrete time system. After that, we examine topological structure of equation. Then, we give the conditions of local stability of this system around feasible fixed point. After, we show analitically that discretized system undergoes Neimark-Sacker bifurcation when one of the system parameter varies near its critical value. We confirm the existence of Neimark-Sacker bifurcation via explicit Flip and Neimark-Sacker bifurcation criterion. And we determine the direction of bifurcation with the help of center monifold theory and bifurcation theory. We carry out numerical simulation to approve our analitical findings.

1. Introduction

Systems of differential equations play an important role in understanding almost all phenomena in nature. These equations are used to explain the relationships between variables, whether past or future. Furthermore, solving these equations is crucial for predicting similar future events or interpreting past events. There are two types of the mathematical models in the theory of dynamic models: the continuous-time models governed by differential equations, and the discrete-time models described by difference equations. These systems are used in fields such as biology, medicine, economics, chemistry, etc. Economic Dynamics have recently become more prominent in mainstream economics. The financial and economic systems show a lot of complex dynamical phenomena, such as, business cycle, financial crisis, irregular growth. Many dynamics models of economics and

¹ Lecturer, Mehmet Akif Ersoy University, mail fatmaiscan@mehmetakif.edu.tr, ORCID ID:0009-0000-9409-8368

finance present various complex dynamical behaviors such as chaos, fractals and bifurcation[20].

Bifurcation theory is a powerful mathematical framework that examines changes in the behavior of equations or systems of equations as parameters are varied. It began to take shape in the mid-20th century with contributions from various mathematicians and physicists. Bifurcation theory has wide-ranging applications across numerous scientific disciplines, including biology, ecology, physics, chemistry, economics, and engineering([3], [4], [5], [6], [8], [9], [12], [14], [18], [20], [23], [24]). For example, in biology and ecology, bifurcation theory is used to explain and model population dynamics, ecosystem stability, and the complex interdependencies in biological systems. By understanding the bifurcation mechanisms underlying ecological transitions, researchers can better manage ecosystems and mitigate the effects of environmental changes on species. Furthermore, the course of an epidemic disease will change with the development of a vaccine. Estimating this parameter plays a crucial role in determining the lasting effects of the disease on species and the impact on species populations. For a financial or economic systems there can be disequilibrium thresholds where society decides it cannot afford the increasing cost of misallocated resources as disequilibrium increases. Such a threshold then forces a restructuring of the market system. This concept of restructuring to maintain the survival of the system is known as bifurcation theory. A bifurcation in a financial or economic system is a point(or threshold) where the system is restructured to operate at a more acceptable or stable level of disequilibrium. Bifurcations do not usually lead to equilibrium conditions, only to a stable or comfortable disequilibrium condition under which the system can continue to survive [20].

The Nonstandard Finite Difference Scheme[15] is useful method to solve the differential equations and system. In recent years, the method has been frequently used, particularly in studies aimed at determining the stability of systems([2], [10], [11], [15], [16], [17]) In this study, the method is used for discretize the equations system from continuous time to discretize time system.

In this paper, a nonlinear financial model is examined proposed by Huang and Li[7] as follows:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= z + (y - a)x, \\ \dot{y} &= 1 - by - x^2 \\ \dot{z} &= -x - cz\end{aligned}\tag{1}$$

Where x denotes the interest rate(can be negative or positive), y denotes the investment demand, z denotes the price index, a is the saving amount,

b is the cost per investment, c is the demand elasticity of commercial markets, and all three constants $a, b, c \geq 0$.

In literature, there are many studies related to this model regarding its solution, stability, branching, etc. [20]. Unlike other studies in this work, the Nonstandard Finite Difference Scheme[15] developed by Michen is applied for the discretization of the system (1) in order to obtain a discrete-time financial system as follows:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{1+\varphi a}(x + \varphi xy + \varphi z) \\ \frac{1}{1+\varphi b}(y + \varphi(1 - x^2)) \\ \frac{1}{1+\varphi c}(-cz - x) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e_1(x, y, z) \\ e_2(x, y, z) \\ e_3(x, y, z) \end{pmatrix} \quad (2)$$

where φ is the step size.

2. Local Stability Analysis of Fixed Point

The fixed points of the system (2) are the solutions of the following non-linear equations:

$$\begin{aligned} x &= e_1(x, y, z) \\ y &= e_2(x, y, z) \\ z &= e_3(x, y, z) \end{aligned} \quad (3)$$

By some algebraic computation, we obtain the following lemma.

Lemma 1: (i) If $c - b - abc \leq 0$, system (2) has only one fixed point $E_0\left(0, \frac{1}{b}, 0\right)$.

(ii) If $c - b - abc > 0$, system (2) has three fixed points $E_1\left(0, \frac{1}{b}, 0\right), E_{2,3} = \left(\pm \sqrt{\frac{c-b-abc}{c}}, \frac{1+ac}{c}, \mp \frac{1}{c} \sqrt{\frac{c-b-abc}{c}}\right)$.

Given at any fixed point $E(x, y, z)$, the jacobian matrix of the system (2) and the characteristic equation are as follows

$$J(E) = \begin{pmatrix} \frac{\varphi y + 1}{\varphi a + 1} & \frac{\varphi x}{\varphi a + 1} & \frac{\varphi}{\varphi a + 1} \\ -\frac{2\varphi x}{\varphi b + 1} & \frac{1}{\varphi b + 1} & 0 \\ -\frac{\varphi}{\varphi c + 1} & 0 & \frac{1}{\varphi c + 1} \end{pmatrix} \quad (4)$$

and

$$P(\mu) := \mu^3 + \vartheta_2\mu^2 + \vartheta_1\mu + \vartheta_0 = 0 \quad (5)$$

where

$$\begin{aligned} \vartheta_2 &= -\text{tr}(J), \\ \vartheta_1 &= \begin{vmatrix} j_{11} & j_{12} \\ j_{21} & j_{22} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} j_{22} & j_{23} \\ j_{32} & j_{33} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} j_{11} & j_{13} \\ j_{31} & j_{33} \end{vmatrix}, \\ \vartheta_0 &= -|J|. \end{aligned} \quad (6)$$

Firstly, the following lemma concerning the necessary and sufficient criteria for stability around fixed point of system (2) in order to understand the nature of the system around fixed point $E(x, y, z)$ is provided.

Lemma 2: Suppose that $\vartheta_2, \vartheta_1, \vartheta_0 \in \mathbb{R}$. Then, the necessary and sufficient conditions for all roots of μ of the equation

$$\mu^3 + \vartheta_2\mu^2 + \vartheta_1\mu + \vartheta_0 = 0$$

to satisfy $|\mu| < 1$ are

$$|\vartheta_2 + \vartheta_0| < 1 + \vartheta_1, |\vartheta_2 - 3\vartheta_0| < 3 - \vartheta_1 \text{ and } \vartheta_0^2 + \vartheta_1 - \vartheta_0\vartheta_2 < 1 \text{ ([1])}.$$

Now, we examine the local Dynamics of system (2) around fixed points E_0 according the Lemma 2. At E_0 the jacobian matrix is

$$J(E_0) = \begin{pmatrix} \frac{b + \varphi}{b(\varphi a + 1)} & 0 & \frac{\varphi}{\varphi a + 1} \\ 0 & \frac{1}{\varphi b + 1} & 0 \\ -\frac{\varphi}{\varphi c + 1} & 0 & \frac{1}{\varphi c + 1} \end{pmatrix}.$$

The characteristic equation of matrix $J(E_0)$ is

$$P := \mu^3 + \kappa_2\mu^2 + \kappa_1\mu + \kappa_0 \quad (7)$$

where

$$\begin{aligned} \kappa_2 &= - \left(\frac{ab^2\varphi^2 + abc\varphi^2 + b^2c\varphi^2 + bc\varphi^3 + 2ab\varphi + 2b^2\varphi + 2bc\varphi + b\varphi^2 + c\varphi^2 + 3b + \varphi}{(ab\varphi + b)(b\varphi + 1)(c\varphi + 1)} \right) \\ \kappa_1 &= \frac{b^2\varphi^3 + ab\varphi + b^2\varphi + bc\varphi + 2b\varphi^2 + c\varphi^2 + 3b + 2\varphi}{(ab\varphi + b)(b\varphi + 1)(c\varphi + 1)} \quad (8) \\ \kappa_0 &= - \left(\frac{b\varphi^2 + b + \varphi}{(ab\varphi + b)(b\varphi + 1)(c\varphi + 1)} \right) \end{aligned}$$

The jacobian matrix $J(E_0)$ have eigenvalues $\mu_1 = \frac{1}{\varphi b+1}, \mu_{2,3} = \frac{1}{2} [B \mp \sqrt{B^2 - 4C}]$ where $\mu_{2,3}$ satisfy the equation $\mu^2 - B\mu + C = 0$, where $B = \frac{2b+\varphi+\varphi bc+\varphi^2 c+\varphi ab}{(b+\varphi ab)(1+\varphi c)}, C = \frac{b+\varphi+\varphi^2}{(b+\varphi ab)(1+\varphi c)}$.

We obtain the topological classification of E_0 presented in the following lemma.

Lemma 3: If $abc - c + b > 0$, the fixed point is a

- (i) sink if $a > \frac{1}{b}$ and $\varphi < \min \left\{ -\frac{bc+2ab+3+\sqrt{(bc+2ab+3)^2-16(abc+c+1)b}}{2(abc+b+c)}, \frac{1-ab-bc}{abc-b} \right\}$ or $a < \frac{1}{b}$ and $\varphi > \max \left\{ \frac{-(bc+2ab+3)+\sqrt{(bc+2ab+3)^2-16(abc+c+1)b}}{2(abc+b+c)}, \frac{1-ab-bc}{abc-b} \right\}$.
- (ii) source if $\varphi > \max \left\{ \frac{-(bc+2ab+3)+\sqrt{(bc+2ab+3)^2-16(abc+c+1)b}}{2(abc+b+c)}, \frac{1-ab-bc}{abc-b} \right\}$ and it is locally unstable.
- (iii) saddle if $-\frac{bc+2ab+3+\sqrt{(bc+2ab+3)^2-16(abc+c+1)b}}{2(abc+b+c)} < \varphi < \frac{-(bc+2ab+3)+\sqrt{(bc+2ab+3)^2-16(abc+c+1)b}}{2(abc+b+c)}$.
- (iv) Non-hyperbolic $\varphi = \frac{1-ab-bc}{abc-b}$ or $\varphi = \frac{-(bc+2ab+3)+\sqrt{(bc+2ab+3)^2-16(abc+c+1)b}}{2(abc+b+c)}$.

3. Analysis of Neimark-Sacker Bifurcation

In this section, we focus to discuss the existence, direction and stability analysis of Neimark-Sacker bifurcation of system (2) around fixed points E_0 by using explicit Flip and Neimark-Sacker bifurcation criterion, Kuznetsov’s normal form method and center manifold theory[10]. We take φ as bifurcation theory.

3.1. Neimark-Sacker Bifurcation:Existence, Direction and Stability

3.1.1. Existence of Neimark-Sacker Bifurcation

We will use the explicit Flip and Neimark-Sacker bifurcation criterion for the existence of Neimark-Sacker bifurcation as follow lemma([13],[15]).

Lemma 4: Consider n-dimensional discrete system as follows:

$$Y_{k+1} = H_{\vartheta}(Y_k)$$

where $\vartheta \in \mathbb{R}$ is being taken as a bifurcation parameter. Furthermore, we write the equation of the jacobian matrix $J(Y^*) = (\theta_{ij})_{n \times n}$ at fixed point $Y^* \in \mathbb{R}^n$ for H_{ϑ} as follows

$$D_{\vartheta}(\mu) = \mu^n + \iota_1 \mu^{n-1} + \dots + \iota_{n-1} \mu + \iota_n = 0 \tag{8}$$

where $l_i = l_i(\vartheta, v)$, $i = 1, 2, \dots, n$ and v is being taken as the control parameter unless stated which is to be determined. We define a sequence of determinants $(N_i^\pm(\vartheta, v))_{i=0}^n$ with $N_0^\pm(\vartheta, v) = 1$ which is to be defined as

$$N_i^\pm = \det(R_1 \pm R_2) \quad (9)$$

where

$$R_1 = \begin{pmatrix} 1 & l_1 & l_2 & \cdots & l_{i-1} \\ 0 & 1 & l_1 & \cdots & l_{i-2} \\ 0 & 0 & 1 & \cdots & l_{i-3} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$R_2 = \begin{pmatrix} l_{n-i+1} & l_{n-i+2} & \cdots & l_{n-1} & l_n \\ l_{n-i+2} & l_{n-i+3} & \cdots & l_n & 0 \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots \\ l_{n-1} & l_n & \cdots & 0 & 0 \\ l_n & 0 & \cdots & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Moreover, we assume that the following conditions hold well:

(i) Eigenvalue Condition: $N_{n-1}^-(\vartheta_0, v) = 0$, $N_{n-1}^+(\vartheta_0, v) > 0$, $D_{\vartheta_0}(1) > 1$, $(-1)^n$

$D_{\vartheta_0}(-1) > 0$, $N_i^\pm(\vartheta_0, v) > 0$ for $i = n-3, n-5, \dots, 2$ (or 1) when n is odd (or even respectively).

(ii) Transversality Condition: $\left(\frac{d}{dv}(N_{n-1}^-(\vartheta, v))\right)_{v=v_0} \neq 0$,

(iii) Non-resonance Condition: $\cos\left(\frac{2\pi}{\ell}\right) \neq \delta$, where $\ell = 3, 4, 5, \dots$ and $\delta = 1 - \frac{0.5 D_{\vartheta_0}(1) N_{n-3}^-(\vartheta_0, v)}{N_{n-2}^+(\vartheta_0, v)}$

then the Neimark-Sacker bifurcation will occur at the critical value ϑ_0 .

If we choose $n = 3$, the following lemma will give the necessary and sufficient parametric condition for system (2) underlies Neimark-Sacker bifurcation if bifurcation parameter passes its critical value.

Lemma 5: The Neimark-Sacker bifurcation of system (2) occurs around the fixed point E_0 at $\varphi = \varphi_{NS}$ is and only if

$$\begin{aligned} 1 - \kappa_1 + \kappa_0(\kappa_2 - \kappa_0) &= 0 \\ 1 + \kappa_1 - \kappa_0(\kappa_2 + \kappa_0) &> 0 \\ 1 + \kappa_2 + \kappa_1 + \kappa_0 &> 0 \\ 1 - \kappa_2 + \kappa_1 - \kappa_0 &> 0 \end{aligned}$$

$$\frac{d}{d\varphi}(1 - \kappa_1 + \kappa_0(\kappa_2 - \kappa_0))_{\varphi=\varphi_{NS}} \neq 0$$

$$\cos\left(\frac{2\pi}{\ell}\right) \neq 1 - \frac{1 + \kappa_2 + \kappa_1 + \kappa_0}{2(1 + \kappa_0)}, \ell = 3, 4, 5, \dots$$

where $\kappa_2, \kappa_1, \kappa_0$ are given as in (8).

Set

$$NSB_{E_2} = \{(a, b, c, \varphi) : \varphi = \varphi_{NS}, a, b, c > 0\}$$

and for parameter perturbation in a small neighborhood of NSB_{E_0} two roots of (7) equation are complex conjugate having modules one and magnitude of other root is not equal to one, then the system (2) experiences Neimark-Sacker bifurcation around E_0 .

3.1.2. Direction and Stability of Neimark-Sacker Bifurcation

In this section with the help of center manifold theory and bifurcation theory we will determine the direction and stability of the Neimark-Sacker bifurcation in system (2). We think the fixed point $E_2 = \left(0, \frac{1}{b}, 0\right)$ of system (2) with arbitrary parameter $(a, b, c, \varphi) \in NSB_{E_0}$. Let $\varphi = \varphi_{NS}$, then the matrix $J(E_0)$ has the eigenvalues satisfying

$$|\mu_i(\varphi_{NS})| = 1, i = 1, 2 \tag{12}$$

and $\mu_3(\varphi_{NS}) \neq 1$.

Next, we use the transformation $\hat{x} = x - x^*, \hat{y} = y - y^*, \hat{z} = z - z^*$, where $x^* = 0, y^* = \frac{1}{b}, z^* = 0$ to transfer the fixed point E_0 of system (2) to the origin. After applying Taylor expansion, the system (2) becomes

$$X \rightarrow A(\varphi)X + F \tag{13}$$

where $A(\varphi) = J(E_0)$ and $X = (\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})^T$ and

$$F(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}, \varphi) = (F_1(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}, \varphi), F_2(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}, \varphi), F_3(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}, \varphi))^T$$

$$= \left(\frac{\varphi \hat{x} \hat{y}}{1 + \varphi a}, -\frac{\varphi \hat{x} \hat{y}}{1 + \varphi a}, 0\right).$$
(14)

The system (13) can be written as

$$X_{n+1} = AX_n + \frac{1}{2}B(X_n, X_n) + \frac{1}{6}C(X_n, X_n, X_n) + O(X_n^4)$$

where

$$B(x, y) = \begin{pmatrix} B_1(x, y) \\ B_2(x, y) \\ B_3(x, y) \end{pmatrix}, \quad C(x, y, z) = \begin{pmatrix} C_1(x, y, z) \\ C_2(x, y, z) \\ C_3(x, y, z) \end{pmatrix} \quad (15)$$

are the symmetric multi-linear functions $B: \mathbb{R}^2 \times \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$ and $C: \mathbb{R}^3 \times \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$ are defined by respectively

$$B_i(x, y) = \sum_{j,k=1}^3 \left. \frac{\partial^2 X_i(v, 0)}{\partial v_j \partial v_k} \right|_{v=0} x_j y_k, \quad i = 1, 2, 3$$

$$C_i(x, y, z) = \sum_{j,k,l=1}^3 \left. \frac{\partial^2 X_i(v, 0)}{\partial v_j \partial v_k \partial v_l} \right|_{v=0} x_j y_k u_l, \quad i = 1, 2, 3$$

For the system (12)

$$B(x, y) = \begin{pmatrix} \frac{\varphi x_1 y_2 + \varphi x_2 y_1}{1 + \varphi a} \\ \frac{-\varphi x_1 y_1 - \varphi x_2 y_2}{1 + \varphi b} \\ 0 \end{pmatrix}, \quad C(x, y, z) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (16)$$

For eigenvalues $\mu_1(\varphi_{NS})$ and $\mu_2(\varphi_{NS})$, let $m_1, m_2 \in \mathbb{C}^3$ be two eigenvectors of $A(\varphi_{NS})$ and $A^T(\varphi_{NS})$ respectively satisfying such that the following conditions hold:

$$A(\varphi_{NS})m_1 = \mu_1(\varphi_{NS})m_1, \quad A(\varphi_{NS})\bar{m}_1 = \mu_2(\varphi_{NS})\bar{m}_1,$$

$$A^T(\varphi_{NS})m_2 = \mu_2(\varphi_{NS})m_2, \quad A^T(\varphi_{NS})\bar{m}_2 = \mu_1(\varphi_{NS})\bar{m}_2 \quad (17)$$

$$\langle m_1, m_2 \rangle = \sum_{i=1}^3 m_{1i} \cdot \bar{m}_{2i} = 1$$

We separate $X \in \mathbb{R}^3$ as $X = zm_1 + \bar{z}\bar{m}_1$ by considering φ vary near to φ_{NS} and for $z \in \mathbb{C}$. The explicit formula of z is $z = \langle m_2, X \rangle$. So the system (13) transformed to the following system for $|\varphi|$ close to φ_{NS} .

$$z \mapsto \mu(\varphi)z + \hat{g}_{kl}(z, \bar{z}, \varphi)$$

where $\mu(\varphi) = (1 + \hat{\psi}(\varphi))e^{i\theta(\varphi)}$ with $\hat{\psi}(\varphi) = 0$ and $\hat{g}(z, \bar{z}, \varphi)$ is a smooth complex-valued function. Applying Taylor expansion to the function \hat{g} , we obtain

$$\hat{g}(z, \bar{z}, \varphi) = \sum_{k+l \geq 2} \hat{g}_{kl}(\varphi)z^{k-l}$$

$$\text{with } \hat{g}_{kl} \in \mathbb{C}, \quad k, l = 0, 1, \dots$$

By using symmetric multi-linear vector functions, the Taylor coefficients can be defined

$$\begin{aligned}
\hat{g}_{20}(\varphi_{NS}) &= \langle m_2, B(m_1, m_1) \rangle \\
\hat{g}_{11}(\varphi_{NS}) &= \langle m_2, B(m_1, \overline{m_1}) \rangle \\
\hat{g}_{02}(\varphi_{NS}) &= \langle m_2, B(\overline{m_1}, \overline{m_1}) \rangle \\
\widehat{g}_{21}(\varphi_{NS}) &= \langle m_2, C(m_1, m_1, \overline{m_1}) \rangle
\end{aligned} \tag{17}$$

The sign of first Lyapunov coefficient $\ell_1(\varphi_{NS})$ determines the direction of Neimark-Sacker bifurcation and is defined by

$$\ell_1(\varphi_{NS}) = Re \left(\frac{\mu_2 \hat{g}_{21}}{2} \right) - Re \left(\frac{(1-2\mu_1)\mu_2^2}{2(1-\mu_1)} \hat{g}_{02} \hat{g}_{11} \right) - \frac{1}{2} |\hat{g}_{11}|^2 - \frac{1}{4} |\hat{g}_{02}|^2 \tag{18}$$

where μ_1, μ_2 are pair of complex conjugate eigenvalues, which has been stated in the following theorem.

Theorem: Let suppose (12) holds and $\ell_1(\varphi_{NS}) \neq 0$, then Neimark-Sacker bifurcation at fixed point $E_2(x^*, y^*, z^*)$ for system (2) if the φ changes its value in small neighbourhood of NSB_{E_0} . Moreover if $\ell_1(\varphi_{NS}) < 0$ (resp. $\ell_1(\varphi_{NS}) > 0$) then there exist attracting (resp. pepelling) smooth closed invariant curve bifurcate from E_0 and the bifurcation is sub-critical (resp. super-critical)

4. Numerical Simulations

In this section, we will give an example to illustrate theoretical result of system (2) by using numerical simulations with the help of diagrams of bifurcation and phase portraits.

Example: We take $a = 1.8, b = 0.5, c = 0.35$ and find the fixed point of the system (2) $E_0(0, 0.2, 0)$. Then, the bifurcation point is obtained $\varphi_{NS} = 0,4054054054$.

The jacobian matrix is evaluated at E_0 is

$$A(\varphi_{NS}) = \begin{pmatrix} 1.046875 & 0 & 0.234375 \\ 0 & 0.831460674 & 0 \\ -0.3550295858 & 0 & 0.8757396449 \end{pmatrix}$$

and the eigenvalues of $A(\varphi_{NS})$ are $\mu_{1,2} = 0.96130732245 \mp 0.275478187395253i, \mu_3 = 0.831460674$ with $|\mu_{1,2}| = 1$. Furthermore

$$1 - \kappa_1 + \kappa_0(\kappa_2 + \kappa_0) = 0$$

$$1 + \kappa_1 - \kappa_0(\kappa_2 + \kappa_0) = 0.617346297 > 0$$

$$1 + \kappa_2 + \kappa_1 + \kappa_0 = 0.0130424748$$

$$1 - \kappa_2 + \kappa_1 - \kappa_0 = 7.184114459$$

$$1 + \kappa_0 = 0.1685393268$$

$$1 - \kappa_0 = 1.831460673$$

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} (1 - \kappa_1 + \kappa_0(\kappa_2 - \kappa_0)) \neq 0$$

and

$$1 - \frac{1 + \kappa_2 + \kappa_1 + \kappa_0}{21 + \kappa_0} = 0.961307325.$$

From the resonance condition $\cos\left(\frac{2\pi}{l}\right) = 0.961307325$, we get $l = \pm 22,51334970$.

So, the criterion for the existence of Neimark-Sacker bifurcation are fulfilled with $(a, b, c, \varphi) \in NSB_{E_2}$ according to the Lemma 6. Therefore, a neimark-Sacker bifurcation occurs around fixed point E_2 if φ crosses its critical value φ_{NS} .

Let $m_1, m_2 \in \mathbb{C}^3$ be two eigenvector of $A(\varphi_{NS})$ and $A^T(\varphi_{NS})$ corresponding to $\mu_{1,2}$ respectively. By some algebraic calculation m_1, m_2 can be found as follows

$$m_1 \sim (-0.187055600885737 +$$

$$0.602210312930i, 0, 0.77611400011678)^T, \text{ and}$$

$$m_2 \sim (0.77611400011678, 0, 0.187055600885737 + 0.60221031293063)^T.$$

For

$$\langle m_1, m_2 \rangle = 1$$

We can take normalized vector as $m_1 = \alpha m_2$, where $\alpha = 0.8143679532 - 1.43354051i$. Then also by (17) and (18) we find $\ell_1(\varphi_{NS}) < 0$. So, according to the theorem, the Neimark-Sacker bifurcation is super-critical.

5. Conclusion

A discrete-time nonlinear financial model is investigated which is obtained with The Nonstandart Finite Differance Scheme. Explicit Flip and Neimark-Sacker criterion is used for the existence of Neimark-Sacker bifurcation at fixed point E_0 . Also, the direction of bifurcation is determined via the applications of center monifold theory and bifurcation

theory. After all of the theoretical analyze is approved by a numerical example. Phase portrait of 3D system is presented by Figure1 for $a = 1.8, b = 0.5, c = 0.35, \varphi_{NS} = 0.405$ with initial conditions $(x_0, y_0, z_0) = (0.4, 0.6, 0.8)$. Time series solutions for $a = 1.8, b = 0.5, c = 0.35$ is shown in Figure2. Scatter plot of xyz for $a = 1.8, b = 0.5, c = 0.35$ is shown by Figure3.

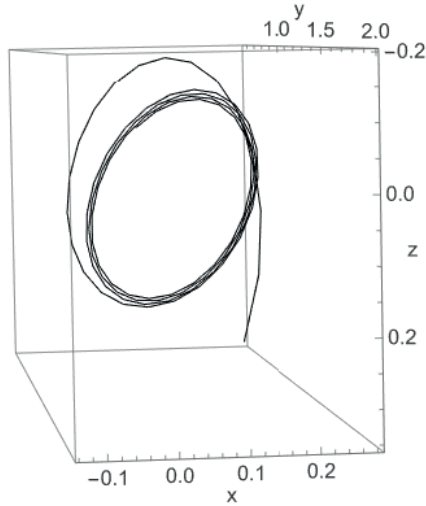
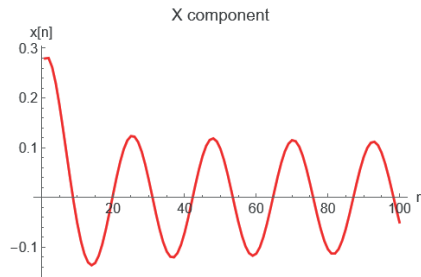
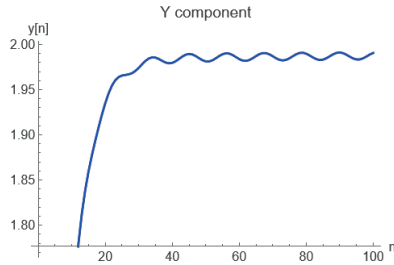


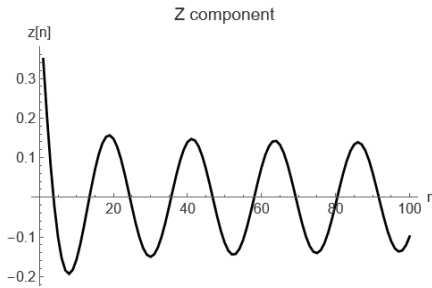
Figure1: Phase portrait for $a = 1.8, b = 0.5, c = 0.35, \varphi_{NS} = 0.405$ with initial conditions $(x_0, y_0, z_0) = (0.4, 0.6, 0.8)$.



(a)



(b)



(c)

Figure 2: Time series solutions for $a = 1.8, b = 0.5, c = 0.35, \varphi_{NS} = 0,405$ with initial conditions $(x_0, y_0, z_0) = (0.4, 0.6, 0.8)$.

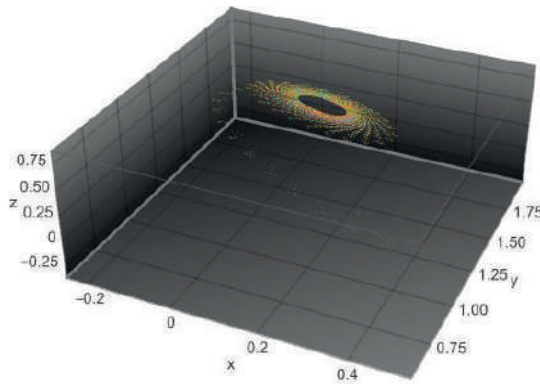


Figure 3: Scatter plot of xyz for $a = 1.8, b = 0.5, c = 0.35, \varphi_{NS} = 0,405$ with initial conditions $(x_0, y_0, z_0) = (0.4, 0.6, 0.8)$.

6. References

- [1] Camouzis, E., Ladas, G., 2007. Dynamics of Third-order Rational Difference Equations with Open Problems and conjectures, Volume 5.
- [2] Cetinkaya, İ. T., Kocabiyık, M., Ongun, M. Y., 2021. Stability Analysis of Discretized Model of Glucose–Insulin Homeostasis., Celal Bayar University Journal of Science, 17(4), 369-377.
- [3] Çelik, C., 2008, The stability and Hopf bifurcation for a predator-prey system with time delay, Chaos Solitons Fractals, 37, 87-99.
- [4] Din, Q., Elsadany, A.A., Khalil, H., 2017. Neimark-Sacker Bifurcation and Chaos Control in a Fractional-Order Plant-Herbivore Model. Discrete Dynamics in Nature and Society, 6312964(2017), 1-16.
- [5] Din, Q., Saleem, N., Shabbir, M.S., 2020. A Class of Discrete Predator-Prey Interaction With Bifurcation Analysis and Chaos Control. Mathematical Modelling of Natural Phenomena, 15, 1-27.
- [6] He, Z., Lai, X., 2011. Bifurcation and Chaotic Behaviour of a Discrete Time Predator-Prey System, Nonlinear Anal. Real World Appl., 12, 403-417.
- [7] Huang, D., Li, H., 1993. Theory and Method of the Nonlinear Economics, Sichuan University Press, China.
- [8] Kangalgil, F., Isik, S., 2020. Controlling chaos and Neimark-Sacker bifurcation in a discrete-time predator-prey system. Hacettepe Journal of Mathematics & Statistics, 49(5), 1761-1776.
- [9] Karaoğlu, E., Merdan, H., 2014. Hopf bifurcation analysis for a ratio-dependent predator-prey system involving two delays, ANZIAM Journal, 55, 214-231.
- [10] Kocabiyık, M., Ongun, M. Y., 2023. Discretization and Stability Analysis for a Generalized Type Nonlinear Pharmacokinetic Models. Gazi University Journal of Science, 36(4), 1675-1691.
- [11] Kocabiyık, M., Ongun, M. Y., 2024. Distributed Order Hantavirus Model and its Nonstandard Discretizations and Stability Analysis. Mathematical Methods in the Applied Science, 2025(48), 2404-2420.
- [12] Kulenovic, M.R.S., Moranjkic, S., Nurkanovic, M., Nurkanovic, Z., 2018. Global Asymptotic Stability and Naimark-Sacker Bifurcation of Certain Mix Monotone Difference Equation. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2018, 1-22.
- [13] Kuznetsov, Y.A., 1998. Elements of Applied Bifurcation Theory, Springer-Verlag, 614p, New York.
- [14] Liu, W., Jiang, Y., 2019. Flip Bifurcation and Neimark-Sacker Bifurcation in a Discrete Predator-Prey model with Harvesting. Accepted Manuscript International Journal of Biomathematics. 13, 1-32.

- [15] Mickens, R. E., 1994. *Nonstandard Finite Difference Models of Differential Equations*, World Scientific, Singapore, 249p.
- [16] Mickens, R. E., 2002. Nonstandard Finite Difference Schemes for Differential Equations. *Journal of Difference Equations and Applications*, 8(9), 823-847.
- [17] Ozdogan, N., Ongun, M. Y., 2022. Dynamical Behaviours of a Discretized Model with Michaelis-Menten Harvesting Rate. *Journal of Universal Mathematics*. 5(2), 159-176.
- [18] Sarker, M., S., R., 2023. Bifurcation Analysis and 0-1 Chaos Test of a Discrete T System., *Chaos Theory and Application*, 5(2), 90-104.
- [19] Wen, G., 2005. Criterion to Identify Hopf Bifurcation in Maps of Arbitrary Dimension. *Physical Review*, 72(2), 026201(1-4).
- [20] Xin, B., Chen, T., Ma, J., 2010. Neimark Sacker Bifurcation in a Discrete-Time Financial System. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2010, 405639(1-12).
- [21] Yao, S., 2012. New Bifurcation Critical Criterion of Flip-Neimark Sacker Bifurcations for Two Parameterized Family of Dimensional Discrete Systems. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2012, 264526(1-12).
- [22] Yousef, A. M., Salman, S. M., Elsadany, A. A., 2018. Stability and Bifurcation Analysis of a Delayed Discrete Predator-Prey Model. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 28(9), 1850116 (1-26).
- [23] Yousef, A. M., Rida, S. Z., Arafat, S., 2020. Stability, Analytic Bifurcation Structure and Chaos Control in a Mutual Interference Host-Parasitoid Model. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 30(15), 2050237 (1-19).
- [24] Yousef, A. M., Salman, S. M., Elsadany, A. A., 2018. Stability and Bifurcation Analysis of a Delayed Discrete Predator-Prey Model. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 28(9), 1850116 (1-26).

Yapı Mühendisliğinde Kuantum Hesaplama: Gelecek Uygulamalar İçin Teorik Bir Çerçeve

Filiz Kolcu¹

Özet

Kuantum hesaplama, karmaşık hesaplama problemlerini ele almak için devrim niteliğinde bir yaklaşım sunmakta ve yapı mühendisliği alanını dönüştürme potansiyeline sahiptir. Bu çalışma, kuantum algoritmalarının—özellikle **Grover algoritması** (Grover, 1996), **Varyasyonel Kuantum Özdeğer Çözücüsü (VQE)** (Peruzzo et al., 2014) ve **Kuantum Yaklaşık Optimizasyon Algoritması (QAOA)** (Farhi, Goldstone & Gutmann, 2014) klasik yapısal analiz ve tasarım yöntemleriyle ilişkili sınırlamaların aşılmasındaki olası rolünü ve teorik temellerini incelemektedir. Çalışmada, kuantum hesaplamının sonlu elemanlar analizi ve optimizasyon süreçlerine entegrasyonu için kavramsal bir çerçeve sunulmakta; veri kodlama, hibrit mimariler gibi temel teknik zorluklar ele alınmakta ve gelecekteki araştırmalar için umut verici yönler ortaya konulmaktadır. Bu çalışma, kuantum destekli yapısal tasarımın gelecekteki pratik uygulamaları için bir temel oluşturmayı amaçlamaktadır.

1. Giriş

Modern mühendislik problemleri; optimize edilmiş performans, sürdürülebilirlik ve dayanıklılık gereksinimlerinin artmasıyla giderek daha karmaşık hale gelmektedir. Bu durum, sonlu elemanlar analizi ve sezgisel optimizasyon algoritmaları gibi klasik hesaplama yöntemlerinin hem teorik hem de pratik sınırlarına yaklaşmasına neden olmaktadır. Bu yöntemler özellikle geniş tasarım uzayları, yüksek derecede doğrusal olmayan davranışlar veya gerçek zamanlı karar verme gerektiren problemlerde yetersiz kalabilmektedir. Bu durum özellikle yapısal optimizasyon ve belirsizlik altında tasarım problemlerinde daha belirgin hale gelmektedir.

1 Dr. Öğr. Üyesi, İnşaat Teknolojisi, İslahiye Meslek Yüksekokulu, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep, Türkiye, <https://orcid.org/0000-0003-2056-632X>

Kuantum hesaplama ise kuantum mekaniği ilkelerine dayanan ve klasik hesaplama yaklaşımlarından tamamen farklı bir hesaplama paradigması sunmaktadır. Klasik bilgisayarlarda veriler 0 veya 1 şeklinde temsil edilirken, kuantum bitleri (qubitler) aynı anda birden fazla durumda bulunabilen süperpozisyon özelliklerine sahiptir. Bu özellik sayesinde kuantum bilgisayarlar çok büyük çözüm uzaylarını paralel olarak inceleyebilme potansiyeline sahiptir.

Yapı mühendisliği bağlamında optimizasyon problemleri genellikle NP-zor problemler olup çok amaçlı tasarım kararları içermektedir. Bu nedenle Grover algoritması, Varyasyonel Kuantum Özdeğer Çözücüsü (VQE) ve Kuantum Yaklaşık Optimizasyon Algoritması (QAOA) gibi kuantum algoritmaları umut verici alternatifler sunmaktadır. Bu algoritmalar teorik olarak küresel minimumun belirlenmesi, topoloji optimizasyonu ve parametrik duyarlılık analizleri gibi görevlerde polinomik veya hatta üstel hızlanma sağlayabilir.

Bu çalışmanın amacı, kuantum hesaplamanın yapı mühendisliği süreçlerine entegrasyonunun teorik temellerini ve potansiyel uygulamalarını incelemektir. Kuantum-klasik hibrit sistemlerin yetenekleri, sınırlamaları ve entegrasyon stratejileri ortaya konularak yapısal analiz, tasarım ve optimizasyon alanlarında yeni bir hesaplama çerçevesinin temelleri sunulmaktadır. Kuantum hesaplama ve hibrit algoritmalar son yıllarda mühendislik optimizasyonu alanında yoğun biçimde araştırılmaktadır (Farhi et al., 2014; Peruzzo et al., 2014; Preskill, 2018).

2. Klasik Yapısal Optimizasyonun Zorlukları

Yapısal optimizasyon, mühendislik tasarımının temel bileşenlerinden biridir ve belirli kısıtlar altında en verimli malzeme dağılımını, geometriyi ve destek koşullarını belirlemeyi amaçlar. Geleneksel olarak bu süreç **sonlu elemanlar yöntemi (FEM)**, gradyan tabanlı optimizasyon yöntemleri ve çeşitli sezgisel algoritmalarla desteklenmektedir.

Ancak yapısal sistemlerin karmaşıklığı arttıkça bu klasik yöntemler önemli sınırlamalarla karşılaşmaktadır.

En önemli problemlerden biri boyutsallık laneti (curse of dimensionality) olarak bilinen durumdur. Tasarım değişkenlerinin ve kısıtların sayısı arttıkça çözüm uzayı üstel olarak büyümekte ve tüm olası tasarımların araştırılması hesaplama açısından çok maliyetli hale gelmektedir. Bu durum özellikle:

- topoloji optimizasyonu
- şekil optimizasyonu
- malzeme dağılımı problemleri

gibi alanlarda uzun hesaplama sürelerine ve yüksek bellek gereksinimlerine yol açmaktadır.

Buna ek olarak klasik optimizasyon yöntemleri çoğu zaman yerel minimumlara takılma problemi yaşamaktadır. Özellikle temas problemleri, doğrusal olmayan malzeme davranışı veya burkulma kısıtları içeren yapısal problemlerde amaç fonksiyonunun yüzeyi konveks değildir. Bu nedenle gradyan tabanlı yöntemler başlangıç tahminine bağlı olarak alt optimum çözümlere yakınsayabilmektedir.

Bu sorunları aşmak için genetik algoritmalar, tavlama benzetimi (simulated annealing) ve parçacık sürü optimizasyonu (PSO) gibi meta-sezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Ancak bu yöntemler genellikle daha yüksek hesaplama maliyeti gerektirir ve yakınsama garantisi sunmaz.

Sonuç olarak bu hesaplama sınırlamaları, mühendislerin tasarım alternatiflerini hızlı biçimde incelemesini ve gerçek zamanlı adaptif tasarım yapmasını zorlaştırmaktadır. Bu durum, kuantum destekli hesaplama gibi yeni yaklaşımların önemini ortaya koymaktadır.

3. Kuantum Hesaplamanın Temelleri

Kuantum hesaplama, kuantum mekaniğinin ilkelerini kullanarak hesaplama yapan yeni bir paradigmadır. Bu yaklaşımın temelinde kuantum bitleri (qubitler) bulunur.

Klasik bitler yalnızca 0 veya 1 değerini alabilirken, qubitler süperpozisyon sayesinde aynı anda birden fazla durumda bulunabilir. Bu durum kuantum bilgisayarların çok sayıda olasılığı paralel olarak değerlendirmesine olanak tanır.

Kuantum hesaplamanın klasik modellerden ayrılmasını sağlayan bir diğer önemli özellik ise dolanıklık (entanglement) olgusudur. Dolanık qubitler arasında güçlü korelasyonlar oluşur ve bu durum karmaşık optimizasyon ve simülasyon problemlerinde büyük hesaplama avantajı sağlar.

Kuantum devrelerinin temel yapı taşları kuantum kapılarıdır. Bu kapılar qubit durumlarını doğrusal cebir ve kompleks vektör uzayları çerçevesinde manipüle eder.

Yapı mühendisliği açısından önemli bazı kuantum algoritmaları şunlardır:

Grover Algoritması

Yapı mühendisliğinde tasarım veri tabanlarının taranması veya çok sayıda yük senaryosu içinden kritik durumların belirlenmesi için kullanılabilir.

Variational Quantum Eigensolver (VQE)

Modal analiz ve titreşim problemlerinde ortaya çıkan özdeğer problemlerinin çözümünde kullanılabilecek hibrit bir algoritmadır.

Quantum Approximate Optimization Algorithm (QAOA)

Kombinatorial optimizasyon problemleri için geliştirilmiştir ve özellikle:

- kafes sistem optimizasyonu
- kesit seçimi
- yük yolu belirleme

gibi problemlerde kullanılabilir.

4. Hibrit Kuantum-Klasik İş Akışları

Mevcut kuantum donanımlarının sınırlamaları nedeniyle günümüzde çoğu uygulama hibrit kuantum-klasik mimariler kullanmaktadır. Bu sistemlerde klasik bilgisayarların güvenilirliği ile kuantum hesaplamaların paralellik avantajı birleştirilmektedir.

Tipik bir hibrit sistem iki bölümden oluşur:

1. Klasik Hesaplama

- Sonlu eleman analizi
- sınır şartlarının uygulanması
- gerilme–şekil değiştirme hesapları

2. Kuantum Hesaplama

- optimizasyon problemlerinin çözümü
- tasarım konfigürasyonlarının değerlendirilmesi

Bu iki alan arasında varyasyonel geri besleme döngüsü bulunmaktadır. Klasik ve kuantum tabanlı optimizasyon yaklaşımlarının temel özellikleri ve karşılaştırılması **Tablo 1**'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Yapısal Optimizasyonda Klasik ve Kuantum Algoritmaların Karşılaştırılması

Kriter	Klasik Algoritmalar	Kuantum Algoritmalar
Yakınsama Hızı	Orta	Daha hızlı (Grover \sqrt{N})
Küresel Optimizasyon	Yerel minimum riski	Daha geniş arama
Paralel Hesaplama	CPU/GPU ile sınırlı	Süperpozisyon kullanır
Donanım	Yüksek performanslı CPU	NISQ cihazları
Ölçeklenebilirlik	Zor	Potansiyel olarak iyi
Gürültü Dayanımı	Olgun algoritmalar	Hata düzeltme gerekli

5. Örnek Uygulama: İş Akışı Entegrasyonu

Bu bölümde iki boyutlu bir kafes sisteminin topoloji optimizasyonu için kavramsal bir örnek verilmiştir. Hibrit kuantum-klasik optimizasyon sürecinin genel iş akışı Şekil 1'de gösterilmektedir. Yapısal topoloji optimizasyonu klasik hesaplama açısından oldukça maliyetli problemler içermektedir (Bendsøe & Sigmund, 2003).

Adım 1 – Klasik Modelleme

- geometri tanımlanır
- malzeme özellikleri atanır
- FEM analizi yapılır

Adım 2 – Kuantum Kodlama

Tasarım değişkenleri QUBO formunda kuantum devresine aktarılır.

Adım 3 – Kuantum Optimizasyonu

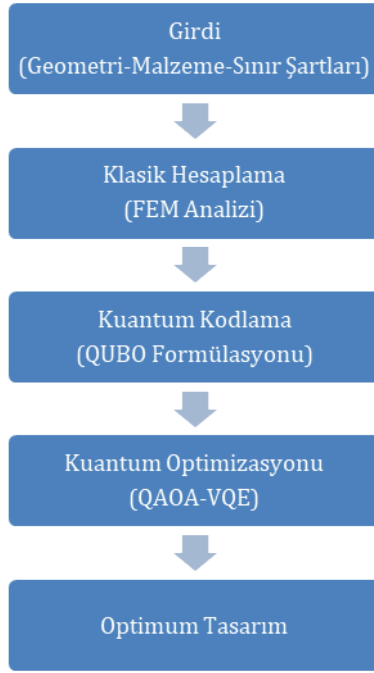
QAOA algoritması kullanılarak en iyi tasarım konfigürasyonları aranır.

Adım 4 – Klasik Değerlendirme

Bulunan tasarım FEM ile tekrar analiz edilir.

Adım 5 – Görselleştirme

Sonuçlar klasik yöntemlerle karşılaştırılır.



Şekil 1. Hibrit Kuantum-Klasik Yapısal Optimizasyon İş Akışı

6. Teknik Zorluklar

Kuantum hesaplamaların mühendislik uygulamalarında kullanılmasını sınırlayan bazı önemli zorluklar vardır.

6.1 Veri Kodlama

Mühendislik problemlerindeki sürekli değişkenlerin qubitlere dönüştürülmesi zordur.

6.2 Gürültü ve Decoherence

Kuantum sistemleri çevresel gürültüden etkilenir ve bu durum hesaplama doğruluğunu azaltır.

6.3 Ölçeklenebilirlik

Mevcut kuantum bilgisayarlar yalnızca yüzlerce qubit içermektedir.

6.4 Alan Özgü Yazılım Eksikliği

Yapı mühendisliği için özel kuantum yazılım kütüphaneleri henüz gelişmemiştir.

7. Gelecek Araştırma Yönleri

Önemli araştırma alanları şunlardır:

- hibrit optimizasyon çözücülerini
- kuantum tabanlı malzeme modelleme
- verimli kodlama yöntemleri
- hata azaltma teknikleri
- disiplinlerarası araştırma merkezleri
- eğitim programlarının geliştirilmesi

8. Sonuç

Kuantum hesaplama, hesaplama yoğun problemlerin çözümünde devrim niteliğinde bir potansiyele sahiptir. Yapı mühendisliği alanında tasarım ve optimizasyon süreçleri giderek daha fazla hesaplama gücü gerektirdiğinden, kuantum algoritmaları önemli fırsatlar sunmaktadır.

Bu çalışmada kuantum hesaplamanın yapısal mühendislik süreçlerine entegrasyonu için teorik bir çerçeve sunulmuştur. Hibrit kuantum-klasik sistemler, geleceğin mühendislik hesaplama araçlarının temelini oluşturabilir.

Kuantum donanımının gelişmesiyle birlikte mühendislik topluluğunun bu teknolojiyi aktif biçimde kullanmaya hazır olması büyük önem taşımaktadır.

Kaynakça

1. Farhi E, Goldstone J, Gutmann S (2014) A quantum approximate optimization algorithm. *arXiv preprint* arXiv:1411.4028
2. Peruzzo A, McClean J, Shadbolt P, Yung M-H, Zhou X-Q, Love PJ, Aspuru-Guzik A, O'Brien JL (2014) A variational eigenvalue solver on a photonic quantum processor. *Nat Commun* 5:4213
3. Grover LK (1996) A fast quantum mechanical algorithm for database search. *Proc 28th Annual ACM Symposium on Theory of Computing*, pp. 212–219
4. Schuld M, Petruccione F (2018) *Supervised Learning with Quantum Computers*. Springer, Cham
5. McClean JR, Romero J, Babbush R, Aspuru-Guzik A (2016) The theory of variational hybrid quantum-classical algorithms. *New J Phys* 18(2):023023
6. Han Y, Luo Y, Lu Y, Zhang H (2020) Structural topology optimization: From classical to quantum computing approaches. *Comput Struct* 238:106282
7. Bendsøe MP, Sigmund O (2003) *Topology Optimization: Theory, Methods, and Applications*. Springer, Berlin
8. Tapia M, Zavala EG, Sartori A, Eiben AE (2023) A survey of hybrid quantum-classical optimization methods. *Quantum Mach Intell* 5:3
9. Gurobi Optimization (2021) Gurobi Optimizer Reference Manual. <https://www.gurobi.com>
10. Wang Y, Tao Z, Li C (2019) Structural reliability analysis using surrogate models and quantum-inspired optimization. *Struct Saf* 76:85–95
11. Fingerhuth M, Babej T, Ing C (2018) A quantum-classical framework for combinatorial optimization. *arXiv preprint* arXiv:1810.13411
12. Preskill J (2018) Quantum computing in the NISQ era and beyond. *Quantum* 2:79
13. Li Y, Benjamin SC (2017) Efficient variational quantum simulator incorporating active error minimization. *Phys Rev X* 7(2):021050
14. Ajagekar A, Humble TS, You F (2020) Quantum computing based hybrid solution strategies for large-scale discrete-continuous optimization problems. *Comput Chem Eng* 132:106630
15. OpenQASM and IBM Qiskit documentation: <https://qiskit.org>
16. Raza H, Hasan S (2021) Application of quantum optimization in civil engineering: A review. *Int J Quantum Inf* 19(5):2150024
17. Daskin A, Kais S (2014) Decomposition of unitary matrices for finding quantum circuits: Application to molecular Hamiltonians. *J Chem Phys* 134:144112
18. Ortega A, Adalsteinsson H, et al. (2023) Quantum computing applications in engineering optimization: A roadmap. *Eng Comput* 39:657–676

19. Montemayor A, González J, Romera R (2020) Quantum machine learning in structural health monitoring. *Sensors* 20(4):1138
20. Nielsen MA, Chuang IL (2010) *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge University Press, Cambridge

Declarations

Funding The author received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

Conflicts of Interest The author declares that there is no conflict of interest.

Ethical Approval Not applicable.

Consent to Participate Not applicable.

Consent for Publication The author consents to the publication of this article.

Availability of Data and Materials No datasets were generated or analyzed during the current study.

Authors' Contributions The sole author is responsible for all aspects of the work including conceptualization, writing, and revision.

İslahiye’de Depreme Dayanıklı Bina Tasarımı: Yerel Malzeme, Zemin Koşulları ve Sürdürülebilirlik Açısından Bir Değerlendirme

Filiz Kolcu¹

Özet

2023 yılında meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremler, Gaziantep’in İslahiye ilçesinde ciddi yıkımlara neden olmuş, bölgede depreme dayanıklı yapı ihtiyacını ön plana çıkarmıştır. Bu çalışma, İslahiye’nin jeolojik yapısı, mevcut binaların tipolojisi ve yerel malzeme kullanımını çerçevesinde sürdürülebilir ve depreme dirençli bina tasarımlarını tartışmayı amaçlamaktadır.

1. Giriş

Türkiye, Alp–Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer alan ve tarihsel süreç boyunca yıkıcı depremlerle karşı karşıya kalan ülkelerden biridir. Anadolu levhasının aktif tektonik yapısı, özellikle Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) boyunca yoğun sismik aktiviteye neden olmakta ve bu durum yerleşim alanlarının önemli bir kısmını yüksek deprem riski altında bırakmaktadır. Türkiye’de meydana gelen büyük depremler, yalnızca can ve mal kaybına yol açmakla kalmayıp aynı zamanda yapı üretim süreçlerinin, planlama kararlarının ve yerel yapı kültürünün yeniden değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.

6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş merkezli olarak meydana gelen ve moment büyüklüğü Mw 7.7 ve Mw 7.6 olan iki büyük deprem, Türkiye’nin güneydoğusunda yer alan birçok ilde olduğu gibi Gaziantep’in İslahiye ilçesinde de ciddi yıkımlara neden olmuştur. Depremler sonucunda özellikle düşük mühendislik hizmeti almış, zayıf zemin koşulları üzerinde inşa edilmiş ve yapısal tasarım ilkelerine uygun olmayan birçok yapı ağır hasar görmüş veya tamamen yıkılmıştır. Bu durum, deprem güvenliği açısından yalnızca taşıyıcı sistem

1 Dr. Öğr. Üyesi, İnşaat Teknolojisi, İslahiye Meslek Yüksekokulu, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep, Türkiye, <https://orcid.org/0000-0003-2056-632X>

tasarımının değil, aynı zamanda zemin özelliklerinin, yapı malzemelerinin ve yerel mimari yaklaşımların birlikte değerlendirilmesi gerektiğini bir kez daha ortaya koymuştur.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı, modern mühendislik yaklaşımlarında yalnızca yapısal dayanımın artırılması ile sınırlı değildir. Günümüzde afetlere dirençli yerleşimlerin oluşturulmasında; zemin koşullarının doğru analiz edilmesi, yapı sistemlerinin süneklik ve enerji sönmüleme kapasitesinin artırılması, yerel malzemelerin performansının değerlendirilmesi ve sürdürülebilir mimari yaklaşımların benimsenmesi önemli bir bütünün parçaları olarak ele alınmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar, özellikle yığma ve hibrit duvar sistemlerinin doğru mühendislik tasarımı ile deprem performansının artırılabilirliğini ve yapı malzemelerinin yaşam döngüsü değerlendirmesinin sürdürülebilir yapı tasarımında önemli bir rol oynadığını göstermektedir (Magenes & Calvi, 1997; Asif et al., 2007).

İslahiye ilçesi, jeolojik ve tektonik özellikleri nedeniyle deprem riski yüksek bölgelerden biri olup Doğu Anadolu Fay Sistemi'ne yakın konumda yer almaktadır. Bölgenin jeomorfolojik yapısı incelendiğinde, alüvyal zeminlerin yaygın olduğu ve yeraltı su seviyesinin bazı alanlarda yüksek olduğu görülmektedir. Bu tür zemin koşulları, özellikle sıvılaşma potansiyeli ve taşıma gücü açısından yapı tasarımını doğrudan etkileyebilmektedir. Ayrıca ilçedeki mevcut yapı stoğunun önemli bir bölümünün geleneksel yığma yapılar veya düşük kaliteli betonarme binalardan oluştuğu bilinmektedir. Bu durum, deprem sırasında meydana gelen hasarın boyutunu artıran önemli faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir.

Öte yandan, İslahiye ve çevresi doğal yapı malzemeleri bakımından zengin bir potansiyele sahiptir. Bölgedeki küfeki taşı, bazalt, kerpiç ve tuğla gibi yerel malzemeler tarihsel süreç boyunca konut ve kamusal yapıların inşasında kullanılmıştır. Bu malzemeler, doğru mühendislik yaklaşımları ile değerlendirildiğinde hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli avantajlar sağlayabilmektedir. Özellikle düşük karbon ayak izi, iyi ısı yalıtım özellikleri ve yerel üretim olanakları nedeniyle bu tür malzemeler sürdürülebilir yapı tasarımı açısından önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Bununla birlikte, geleneksel yapı malzemelerinin deprem performansı tek başına yeterli olmayabileceğinden, bu malzemelerin modern taşıyıcı sistemlerle hibrit olarak kullanılması giderek daha fazla araştırılan bir konu haline gelmiştir.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, yerel malzemelerin çelik veya betonarme taşıyıcı sistemlerle birlikte kullanıldığı hibrit yapı sistemlerinin hem deprem dayanımı hem de enerji verimliliği açısından başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bu tür sistemler, bir yandan yapısal güvenliği artırırken

diğer yandan geleneksel mimari dokunun korunmasına ve yerel kaynakların değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca, sürdürülebilir yapı tasarımında pasif iklimlendirme, enerji verimliliği ve düşük karbonlu malzeme kullanımı gibi kriterlerin giderek daha fazla önem kazanması, yerel ve doğal malzemelerin yeniden gündeme gelmesine neden olmuştur.

Bu çalışma, Gaziantep'in İslahiye ilçesinde meydana gelen deprem sonrası ortaya çıkan yapı hasarlarını ve bölgenin jeolojik özelliklerini dikkate alarak, depreme dayanıklı ve sürdürülebilir yapı tasarımı için alternatif yaklaşımlar geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda, bölgenin zemin özellikleri, mevcut yapı stoğu ve yerel yapı malzemeleri birlikte değerlendirilmiş; modern mühendislik ilkeleri ile yerel yapı kültürünü bir araya getiren hibrit yapı sistemleri üzerinde durulmuştur. Çalışmanın temel hedefi, hem ekonomik hem de çevresel açıdan sürdürülebilir, deprem riskine karşı dayanıklı ve yerel koşullarla uyumlu yapı tasarımına yönelik bütüncül bir değerlendirme sunmaktır.

Bu bağlamda çalışma, yalnızca İslahiye için değil, benzer jeolojik ve sosyoekonomik özelliklere sahip diğer yerleşim alanları için de uygulanabilir bir yapı tasarım yaklaşımının geliştirilmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışma, çok yönlü bir veri toplama ve analiz sürecine dayanmaktadır. Araştırma kapsamında öncelikle literatür taraması yapılmış; depreme dayanıklı bina tasarımı, yerel malzeme kullanımı ve sürdürülebilir mimari konularında ulusal ve uluslararası kaynaklar incelenmiştir. Ardından, İslahiye bölgesine ait zemin etüdü raporları, AFAD ve MTA tarafından yayımlanan mikro bölgeleme haritaları analiz edilmiştir.

Yerel yönetimlerden temin edilen yapı envanteri verileri ile bölgedeki mevcut yapı türleri sınıflandırılmış; hasar gören yapılar ile zemin özellikleri arasındaki ilişki ortaya konulmuştur. Ayrıca, bölgeye özgü malzemelerin (küfeki taşı, tuğla, kerpiç vb.) fiziksel ve mekanik özellikleri incelenerek, bu malzemelerin yapı sistemlerinde kullanım potansiyeli değerlendirilmiştir.

Çalışmanın bir diğer önemli bileşeni saha gözlemleridir. 2023 yılı içerisinde İslahiye merkez ve çevre mahallelerde yapılan yerinde incelemelerde, farklı bina örnekleri gözlemlenmiş, halktan ve yerel teknik personelden yapıların kullanım süreci, deprem öncesi ve sonrası durumu hakkında nitel veriler toplanmıştır. Gözlemler, yapı türlerinin dayanıklılığı, zeminle ilişkisi ve malzeme seçiminin performansa etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

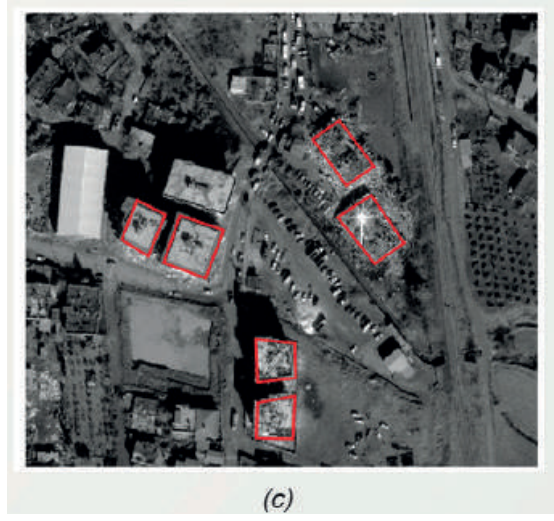
Tüm veriler, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamlı yöntem setiyle, İslahiye özelinde depreme dayanıklı, yerel ve sürdürülebilir yapı tasarımına dair bütüncül bir değerlendirme yapılması hedeflenmiştir. Saha gözlemleri ve zemin özelliklerine ilişkin temel bulgular Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Saha Gözlemleri ve Zemin Özellikleri

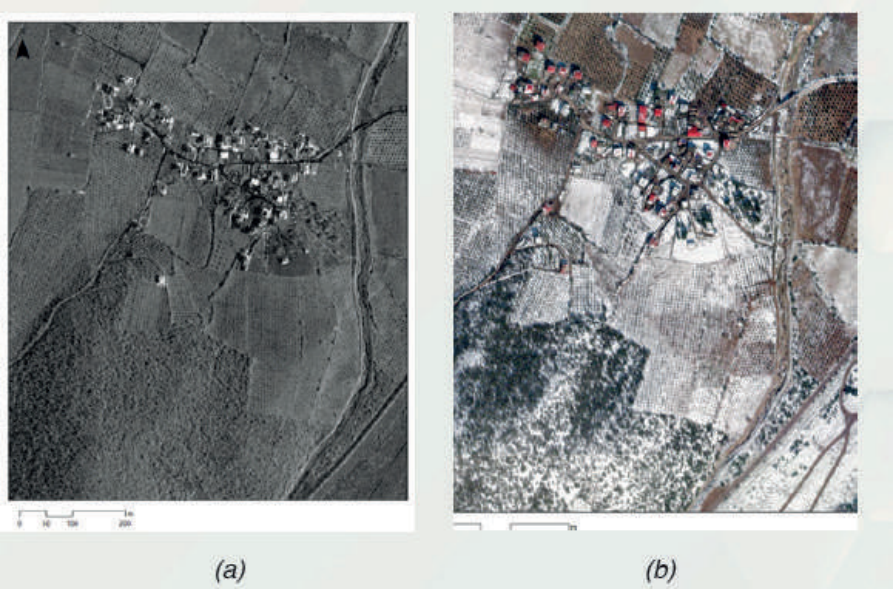
Gözlem Noktası	Zemin Tipi	Yeraltı Suyu Seviyesi	Gözlemlenen Yapı Tipi	Hasar Durumu
İslahiye Merkez	Alüvyal dolgu	Yüksek	Betonarme (düşük kalite)	Ağır Hasar
Altınüzüm	Kil/silt karışımı	Orta	Yığma yapı	Orta Hasar
Fevzipaşa	Kumlu çakıllı zemin	Düşük	Betonarme + Çelik	Hafif Hasar

Deprem meydana geldikten sonra İTÜ UHUZAM'da hemen görüntü arşivleri incelenmiş ve deprem bölgesine ait mevcut görüntüler belirlenmiştir. Uydu verisi sağlayıcıları ile iletişime geçilerek bölgeden alınan görüntülere erişim sağlanmıştır. Ancak bölgede çok geniş alanı kapsayan iklimsel bulutluluk ve hava koşullarının uygun olmaması nedeniyle ilk 24 saat süresince optik uydu görüntüleri uydu işletmecileri tarafından kullanılabilir şekilde alınamamıştır. Bulut engelini azalması ile en erken 7.2.2023 tarihinde ve devam eden günlerde optik uydu görüntüleri temin edilmeye başlanmıştır. Görüntülerin bir kısmı UHUZAM arşivine entegre edilmiş ve tüm deprem verileri kullanıcıların erişimine açılmıştır (Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3.) (2023_itu_deprem_on_raporu)

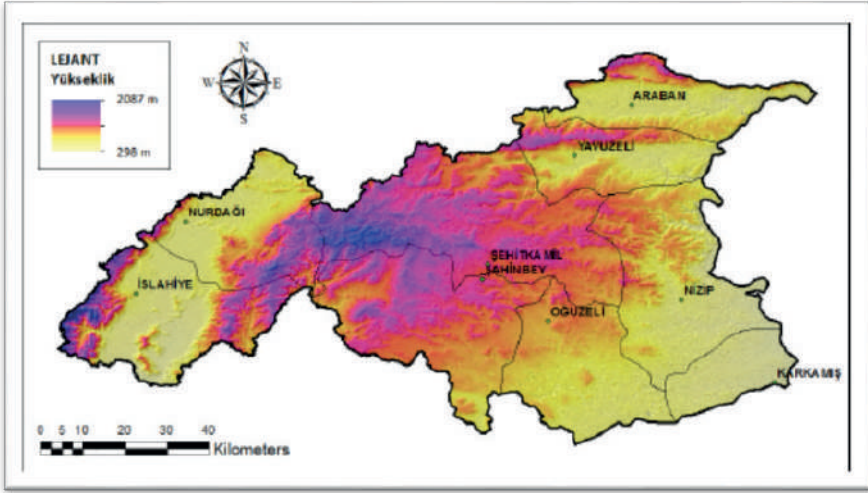




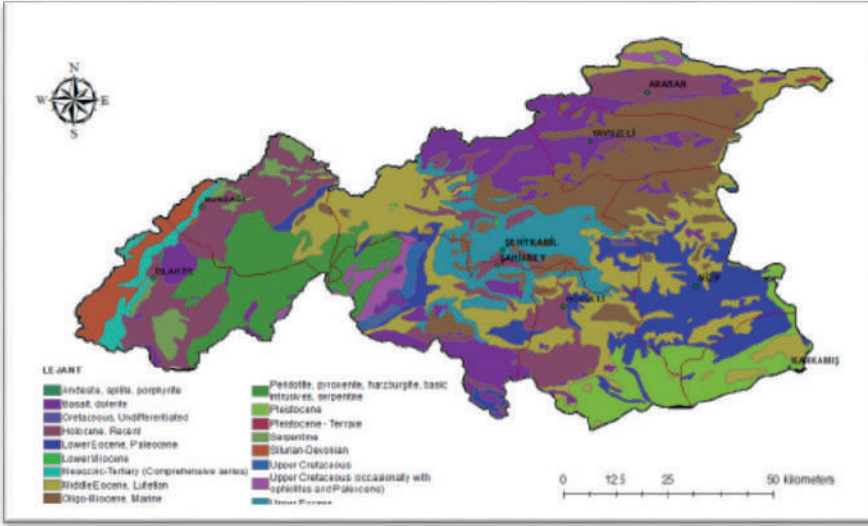
Şekil 1. 07.02.2023 Islahiye yıkık bina örneği a) GeoEye-1 Pan Keskinleştirilmiş Görüntü b) World-View-3 Pan Keskinleştirilmiş Görüntü c) WorldView-3 Pankromatik Görüntü



Şekil 2. a) 09.02.2023 Telli-Islahiye Capella Uydu Görüntüsü (URL-2) b) 07.02.2023 Worldview-3 uydu görüntüsü



Şekil 4. Gaziantep İlinin Jeomorfolojik Yapısı (CBS programları ile üretildi, Gaziantep AFAD)



Şekil 5. Gaziantep Jeoloji Haritası (MTA verileri kullanılarak CBS programları ile üretildi, Gaziantep Gaziantep AFAD)

İslahiye jeolojik gelişimi ve yapısal özellikleri bakımından farklı tektonik birliklerin bir araya geldiği bir bölgede yer almaktadır. Bunlar Mezozoik Tersiyer, Silüriyen-Devoniyen, Serpantin, Peridotit, Piroksenit, Bazalt Dolerit, Üst Kretase formasyonlarıdır. (Şekil 5.) Çoğu tektonik hareketlerle ilişkili, özellikle ofiyolitik kuşaklarda gözlenen kayalardır. Volkanik, magmatik ve

Benzer şekilde, bölgedeki bir diğer geleneksel yapı malzemesi olan kerpiç, modern yapı teknolojileriyle birlikte yeniden değerlendirilmeye başlanmıştır. Geleneksel kerpiç, su, kil ve saman karışımından elle üretilirken, günümüzde mekanik presleme teknikleri kullanılarak daha homojen, yoğun ve dayanıklı bloklar elde edilmektedir. Ayrıca doğal lif katkıları (örneğin saman, bazalt lifi, hindistancevizi lifi) sayesinde çatlama direnci ve elastisite modülü artırılarak depreme karşı performansı geliştirilmektedir (Walker et al., 2005). Bunun yanı sıra, kerpicing higroskopik yapısı, iç mekân nem dengesinin korunmasına yardımcı olmakta; düşük ısı iletkenliği sayesinde enerji verimliliğine katkı sağlamaktadır (Houben & Guillaud, 1994).

Son yıllarda yapılan deneysel çalışmalar ve saha uygulamaları, bu tür yerel malzemelerin modern taşıyıcı sistemlerle hibrit olarak kullanıldığında yapısal performans açısından oldukça tatmin edici sonuçlar verdiğini göstermiştir. Örneğin, çelik taşıyıcı karkas sistemleri ile taş dolgu veya betonarme çerçeve içine yerleştirilmiş kerpiç blok duvarlar, hem yatay yük taşıma kapasitesi açısından güvenli, hem de düşük karbon ayak izine sahip sistemlerdir (Elyamani et al., 2020).

Bu bağlamda, yerel malzeme ile hibrit yapı tasarımı, sadece ekonomik bir çözüm olmakla kalmayıp aynı zamanda sürdürülebilirlik, kaynak verimliliği ve kültürel süreklilik açısından da oldukça değerlidir. Özellikle deprem riski yüksek bölgelerde, düşük maliyetli ve yerel halkın bilgi birikimine dayanan yapıım tekniklerinin çağdaş mühendislik ilkeleriyle sentezlenmesi, afetlere dirençli yerleşimlerin geliştirilmesinde önemli rol oynamaktadır.

5. Sürdürülebilirlik ve Enerji Verimliliği

Depreme dayanıklı bir kütlenin ancak yapının işletme süresince de düşük enerji talep eden bir kabukla tamamlandığında “sürdürülebilir” olacağı kabul edilmektedir. İslahiye'nin yazları sıcak-kurak (ort. $T_{max} \approx 34$ °C) ve kışları serin-yağışlı (ort. $T_{min} \approx 3$ °C) karasal iklimi, soğutma kadar ısıtma enerjisinin de tasarım girdisi olmasını gerektirir. Güncel TS 825:2025 taslağı hem ısıtma hem soğutma limitlerini zorunlu kılarak bu gerçeği mevzuata taşımıştır.

5.1 Pasif Tasarım İlkeleri

- Kütle yerleşimi ve biçim – Doğu-batı dar cephe, avlulu plan → güneş yükünü sınırlama, gece serinliğiyle çapraz havalandırma (%18'e varan soğutma yükü azalması).

- Çatı morfolojisi – 20–25° havalandırmalı çift kabuk → yazın radyasyonun %65'i dışta kalır; kışın güney eğimiyle pasif ısı kazancı.

- Gölgeleme elemanları – Konsollu çıkmalar, ahşap kafes panjurlar → geç yaz öğleden sonrasındaki direkt kazançları keser.

5.2 Yerel Malzemelerin Higrorterml Performansı

- Kerpiç bloklar – Preslenmiş ve %3 organik lif katkılı yeni nesil kerpiç, $\lambda = 0,44 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ile TS 825’in sınırının altındadır. Yüksek özgül ısı kapasitesi sayesinde iç sıcaklık salınımını $\pm 2 \text{ K}$ içinde dengeler ve bağıl nemi %45–60 aralığında tutar.

- Küfeki taşı dolgu – Gözenekli dokusu ile düşük yoğunluk ve ısı depolama sağlar.

- Hibrit zarf – 30 cm kerpiç dolgu + 5 cm iç kaplama + taş kaplama, simülasyonlarda enerji ihtiyacını %35–40 düşürmüştür.

5.3 Prototip Konut Tipolojileri

Üç farklı prototip (P-80, P-120, P-200) için yapılan simülasyonlara göre, birincil enerji tüketimi TS 825 uyumlu konutlara göre %60, konvansiyonel yapılara göre %85 azalabilmektedir. Bu değerler, pasif ev pratiğinde raporlanan %80–90 tasarruf aralığıyla tutarlıdır.

5.4 Sonuç ve Yol Haritası

1. İklimle duyarlı yerleşim-kütle tasarımı ile yükün azaltılması,
2. Yerel, düşük karbonlu malzemeler (kerpiç, küfeki taşı) ile yüksek ısı kütlesi ve nem tamponlaması,
3. Hibrit taşıyıcı-zarf sistemleri ile deprem güvenliğinin korunması,
4. Yenilenebilir enerji ve ısı geri kazanımı gibi aktif bileşenlerle net-sıfır hedefinin desteklenmesi,

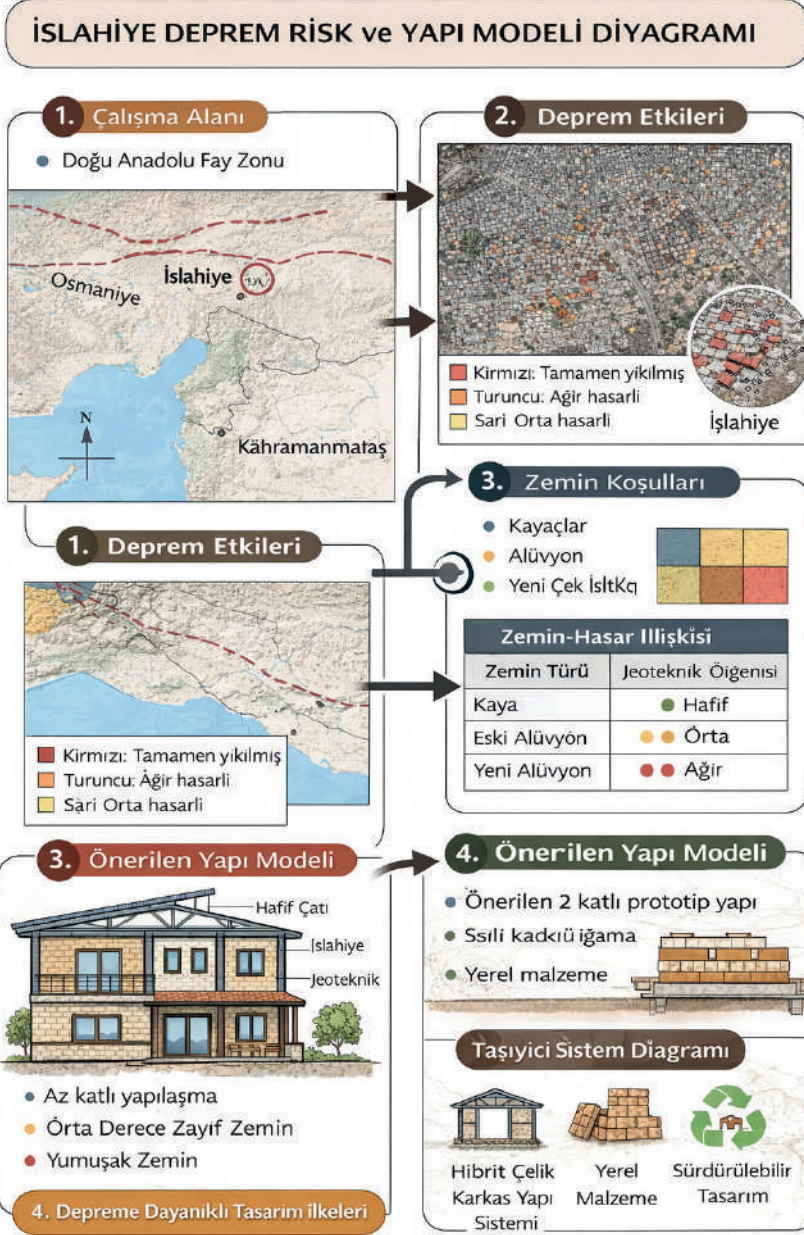
İslahiye ölçeğinde geliştirilen prototiplerde doğrulanmıştır. Pilot saha izleme çalışmaları ile performansın izlenmesi planlanmaktadır.

6. Tartışma ve Öneriler

İslahiye ilçesi, Türkiye’nin aktif fay hatları üzerinde yer alması ve buna bağlı olarak yüksek düzeyde sismik risk barındırması nedeniyle, yapılaşma süreçlerinde hem deprem güvenliğini ön planda tutan hem de sosyoekonomik koşullara duyarlı çözümlerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Mevcut ekonomik kısıtlar, geleneksel yapı sistemlerinin tek başına yeterli olmayabileceğini, bunun yerine yerel malzeme temelli, düşük maliyetli, düşük katlı ve sismik

olarak optimize edilmiş yapı sistemlerinin değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Bu bağlamda önerilen yapı çözümlenmesi, taşıyıcı sistem olarak çelik veya ahşap iskelele desteklenmiş taş ya da kerpiç dolgu duvarların kullanıldığı hibrit sistemler üzerine odaklanmaktadır. Bu yaklaşım, deprem güvenliği, enerji verimliliği ve yerel malzeme kullanımını bütüncül bir tasarım anlayışı içinde ele almaktadır. Önerilen yapı sistemi ve deprem riski ile yapı ilişkisini gösteren kavramsal model Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 7. İslahiye deprem risk ve yapı modeli diyagramı.

6.1. Yapısal ve Çevresel Uyum

- Deprem Performansı: Hafif ve sünek taşıyıcı sistemler (çelik/ahşap), yer hareketine uyum sağlayarak rijit yapı sistemlerine göre daha az göçme riski taşımaktadır. Bu sistemlerle bütünleşen taş veya kerpiç dolgular ise hem yük taşıma dışı görevlerde (ısı yalıtımı, nem tamponlaması) işlev görür hem de yerel malzeme kullanımı ile karbon ayak izini azaltır.
- Termal ve Hijrotermal Konfor: Kerpiç ve küfeki taşı gibi gözenekli ve yüksek özgül ısı kapasitesine sahip malzemeler, iç mekân sıcaklığını pasif biçimde dengeleyerek enerji ihtiyacını azaltmakta; aynı zamanda bağıl nemin stabil kalmasına katkı sağlamaktadır.
- Sosyoekonomik Etkililik: Bu tür yapı teknikleri, yerel iş gücünün istihdamını kolaylaştırarak bölgesel kalkınmayı desteklemekte; aynı zamanda inşa süresini ve dışa bağımlılığı azaltmaktadır. Yerel üretim ve yerel işçilik, döngüsel ekonomiye katkı sunmaktadır.

6.2. Kurumsal ve Yönetmelik Öneriler

Söz konusu yapı modellerinin yaygınlaştırılabilmesi için yalnızca teknik uygunluk değil, aynı zamanda kurumsal yönetim mekanizmalarının da devreye alınması gerekmektedir. Bu doğrultuda aşağıdaki stratejik adımlar önerilmektedir:

1. Tip Proje Geliştirme: Yerel yönetimlerin (belediyeler) öncülüğünde, mimarlar ve mühendisler odalarının katkısıyla, bölgesel iklim, zemin ve kullanıcı profiline uygun tip konut projeleri oluşturulmalıdır. Bu projeler hem ruhsat süreçlerini kolaylaştıracak hem de teknik standartlaşmayı sağlayacaktır.
2. Teknik Kılavuzlar ve Eğitim Programları: Meslek odaları ve üniversiteler aracılığıyla, hibrit yapı sistemlerinin tasarımı, inşası ve bakımına yönelik uygulama kılavuzları hazırlanmalı; yerel ustalar ve teknik personel için kapasite geliştirici eğitim programları yürütülmelidir.
3. Mevzuat Uyum ve Teşvikler: Ulusal imar ve yapı standartlarında, bu tür alternatif sistemlerin kullanımını teşvik eden mevzuat düzenlemeleri yapılmalı; aynı zamanda yerel malzeme kullanımına ve enerji verimliliğine dayalı konutlar için hibe, vergi indirimi veya kredi kolaylığı gibi teşvik mekanizmaları hayata geçirilmelidir.

7. Sonuç

İslahiye özelinde geliştirilen yapı yaklaşımı, sadece afet sonrası acil barınma ihtiyacını karşılamakla kalmayıp, uzun vadede iklimle uyumlu, düşük karbonlu ve yerel malzemelerin etkin kullanımıyla desteklenen sürdürülebilir bir yapı kültürünün oluşmasına olanak sağlamaktadır. Bu bütüncül yaklaşım, teknik dayanıklılık kriterlerinin yanı sıra sosyal, ekonomik ve çevresel faktörleri bir arada değerlendirerek, yapı tasarımında çok boyutlu bir perspektif sunmaktadır. Benzer jeoteknik ve sosyoekonomik koşullara sahip diğer bölgelerde de uygulanabilirliği bulunan bu model, afet risk azaltımı, çevresel sürdürülebilirlik ve yerel kalkınma hedeflerini entegre eden kapsamlı bir strateji olarak değerlendirilebilir. Böylece, İslahiye’de depreme dayanıklı, enerji verimli ve yaşanabilir konutların tasarımı mümkün hale gelirken, bölgenin doğal ve kültürel dokusuyla uyumlu, ekonomik açıdan erişilebilir ve ekolojik olarak duyarlı yapılar geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu çalışma, söz konusu hedeflere yönelik uygulanabilir bir model önerisi sunmakta ve gelecekte yapılacak saha uygulamaları ve performans izleme çalışmaları için temel oluşturmayı amaçlamaktadır.

Kaynaklar

- AFAD. (2023). *Deprem risk haritaları ve zemin verileri*. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Yayınları.
- Asif, M., Muneer, T., & Kelley, R. (2007). Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland. *Building and Environment*, 42(3), 1391–1394.
- Elyamani, A., Delgado, R., & Rodrigues, H. (2020). Seismic behavior of hybrid masonry structures: Combining traditional and modern materials. *Engineering Structures*, 207, 110193.
- Gaziantep AFAD. (2023). *Gaziantep ili deprem tehlikesi ve zemin özellikleri raporu*.
- Gültekin, A., Yılmaz, M., & Ay, S. (2019). Taş yapı malzemelerinin deprem performansı üzerine bir değerlendirme. *Yapı Teknolojileri Dergisi*, 5(2), 45–59.
- Güler, M. (2020). CBS ile deprem hasar analizi: İslahiye örneği. *Jeoteknik Mühendisliği Bülteni*.
- Houben, H., & Guillaud, H. (1994). *Earth construction: A comprehensive guide*. Intermediate Technology Publications.
- Magenes, G., & Calvi, G. M. (1997). In-plane seismic response of brick masonry walls. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 26(11), 1091–1112.
- MTA. (2022). *Mikrobölgeleme ve zemin etüt raporları*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Özden, A., & Akbaş, R. (2021). Geleneksel yapı malzemelerinin depreme dayanıklılığı. *İnşaat Bilimi Dergisi*.
- Walker, P., Keable, R., Martin, J., & Maniatidis, V. (2005). *Rammed earth: Design and construction guidelines*. BRE Bookshop.
- Yüzer, N. (2015). Doğal taşların yapı fiziği açısından değerlendirilmesi: İstanbul küfeki taşı örneği. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Yayınları.

Deprem Sonrası İslahiye’de Ekolojik Denge ve Yeniden Yapılanma

Filiz Kolcu¹

Özet

6 Şubat 2023’te meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremler, Gaziantep’in İslahiye ilçesinde ciddi fiziksel ve çevresel hasarlara neden olmuştur. Bu çalışma, deprem sonrasında bölgedeki ekolojik denge üzerindeki etkileri incelemekte ve yeniden yapılanma sürecinde çevresel sürdürülebilirliğin nasıl sağlanabileceğini değerlendirmektedir. Saha gözlemleri, literatür incelemesi ve resmi raporların analizi doğrultusunda çevreye duyarlı ve sürdürülebilir bir yeniden yapılanma modeli önerilmektedir.

1. Giriş

Türkiye, aktif fay hatları üzerinde yer alması sebebiyle sık sık yıkıcı depremlerle karşı karşıya kalmaktadır. 2023 Kahramanmaraş depremleri, Gaziantep’in İslahiye ilçesinde hem fiziksel hem de ekolojik yıkıma neden olmuştur. Yeniden yapılanma süreci yalnızca yapı çevreyi değil, aynı zamanda doğal çevreyi de etkilemektedir. Bu nedenle, deprem sonrası süreçte ekolojik dengeyi korumak ve yeniden inşa faaliyetlerini sürdürülebilir bir çerçevede gerçekleştirmek büyük önem arz etmektedir.

Afet sonrası yeniden yapılanma süreçleri yalnızca fiziksel hasarın giderilmesiyle sınırlı değildir. Günümüzde afet yönetimi literatürü, yeniden yapılanma faaliyetlerinin aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik, ekosistem bütünlüğü ve toplumsal dayanıklılık gibi unsurları da kapsamı gerektiğini vurgulamaktadır. Özellikle doğal sistemlerle uyumlu planlama yaklaşımları, afetlere karşı daha dirençli yerleşimlerin oluşturulmasında önemli bir rol oynamaktadır.

1 Dr. Öğr. Üyesi, İnşaat Teknolojisi, İslahiye Meslek Yüksekokulu, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep, Türkiye, <https://orcid.org/0000-0003-2056-632X>

Bu bağlamda, deprem sonrası yeniden yapılanma süreçlerinde ekolojik dengeyi koruyan planlama yaklaşımlarının geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, Gaziantep’in İslahiye ilçesinde meydana gelen 2023 Kahramanmaraş depremlerinin ardından ortaya çıkan çevresel etkileri incelemekte ve sürdürülebilir yeniden yapılanma için ekolojik temelli bir değerlendirme sunmayı amaçlamaktadır.

2. Literatür Özeti

Afet sonrası yeniden yapılanma süreci; altyapı onarımı, toplumsal iyileşme ve çevresel dengenin yeniden sağlanması gibi çok boyutlu bir yaklaşımı gerektirir. Berke ve Campanella (2006), afet sonrası yapılaşmanın dirençli ve sürdürülebilir kentler oluşturmak için fırsat sunduğunu belirtmektedir. Türkiye’deki uygulamalar incelendiğinde, genellikle kısa vadeli çözümlere öncelik verildiği ve çevresel hassasiyetlerin yeterince dikkate alınmadığı görülmektedir. UN-Habitat (2020), doğal sistemlerin onarımı ve yeşil altyapının geliştirilmesini önermektedir. Ancak bu ilkelerin sahada ne ölçüde karşılık bulduğu tartışmalıdır.

Ekolojik yeniden yapılanma kavramı, afet sonrası iyileşme süreçlerinde doğal çevrenin korunmasını, ekosistem hizmetlerinin devamlılığını ve kaynakların sürdürülebilir kullanımını önceleyen bir yaklaşımdır (Berke ve Campanella, 2006). Bu yaklaşım, yerleşimlerin iklim, topoğrafya, su kaynakları ve biyolojik çeşitlilik gibi doğal faktörlerle uyumlu şekilde tasarlanmasını savunur. Ancak birçok ülkede olduğu gibi Türkiye’de de geleneksel yeniden yapılanma pratikleri çoğunlukla hızlı konut üretimi ve altyapı odaklıdır. Bu durum, doğal sistemlerin göz ardı edilmesine ve uzun vadede yeni çevresel risklerin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir.

UN-Habitat (2020), afet sonrası planlamada “doğal sistemlerin onarılması ve yeşil altyapının geliştirilmesi” ilkelerini ön plana çıkarmaktadır. Buna göre, molozların doğrudan nehir yataklarına dökülmesi gibi müdahaleler yalnızca çevre kirliliği yaratmakla kalmamakta, aynı zamanda seller, erozyon ve biyoçeşitlilik kaybı gibi ikincil afet risklerini de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle, yeniden yapılanma süreçlerinde ekolojik hassasiyetlerin planlama ve tasarım düzeyinde dikkate alınması gerekmektedir.

Türkiye’deki örnekler incelendiğinde, 2011 Van Depremi sonrasında uygulanan TOKİ projelerinde enerji verimliliği, doğal havalandırma ve yerel malzeme kullanımı gibi sürdürülebilirlik kriterlerinin sınırlı düzeyde uygulandığı görülmektedir (Yıldız, 2019). Benzer şekilde, 2020 Elazığ Depremi sonrası inşa edilen konutlar da çoğunlukla standart tip projelere

dayalı olarak gerçekleştirilmiş, bölgenin ekolojik karakteri ve iklimsel verileri tasarım sürecine yeterince entegre edilememiştir (TMMOB, 2021).

Literatürde, yeşil altyapı uygulamaları (örneğin yağmur suyu hasadı, geçirgen zeminler, yeşil çatılar), afet sonrası kentsel dönüşüm süreçlerinde önemli bir fırsat olarak değerlendirilmektedir (Ahern, 2011). Bu tür uygulamalar, hem çevresel dayanıklılığı artırmakta hem de toplumun afet sonrası toparlanma sürecine psikolojik ve sosyal destek sunmaktadır.

3. Yöntem

Araştırma, nitel yöntemlere dayanmakta olup, özellikle yerel bağlamda ekolojik durumun değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Durum çalışması yöntemi kapsamında İslahiye’de yapılan gözlemler, yarı yapılandırılmış görüşmeler ve belge analizleri kullanılmıştır. Görüşmeler belediye yetkilileri, teknik uzmanlar ve bölge halkıyla gerçekleştirilmiş; elde edilen veriler içerik analizi yöntemiyle değerlendirilmiştir. Ayrıca moloz sahaları ve doğal alanlar CBS sistemleri ile haritalandırılmıştır.

Bu çalışma, nitel araştırma yöntemleri çerçevesinde tasarlanmış olup, özellikle yerel bağlamı anlamaya ve saha temelli verilerle özgün analizler geliştirmeye odaklanmıştır. Araştırmanın temel amacı, 6 Şubat 2023 tarihli Kahramanmaraş merkezli depremler sonrasında İslahiye ilçesindeki ekolojik tahribatı değerlendirmek ve yeniden yapılanma sürecinde çevresel faktörlerin nasıl dikkate alındığını çok boyutlu olarak analiz etmektir.

Araştırmada durum çalışması (case study) yöntemi benimsenmiştir. Durum çalışmaları, belirli bir olay, yer ya da süreç üzerine derinlemesine veri toplama ve analiz yapma olanağı sağladığından, İslahiye özelinde deprem sonrası ekolojik yapıların ve planlama süreçlerinin incelenmesi için uygun bir çerçeve sunmaktadır (Yin, 2018). Bu kapsamda nitel veri toplama araçları olarak belge incelemesi, yarı yapılandırılmış görüşmeler ve doğrudan saha gözlemleri kullanılmıştır.

Belge incelemesi kapsamında, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yayımlanan yeniden yapılanma planları, TOKİ konut projeleri, TMMOB raporları ve belediyelere ait imar ve çevre düzeni planları analiz edilmiştir. Ayrıca UN-Habitat, AFAD ve diğer uluslararası kuruluşların afet sonrası çevre planlamasına ilişkin ilkeleri taranmıştır.

Yarı yapılandırılmış görüşmeler, yerel yönetim temsilcileri (belediye ve ilçe müdürlükleri), çevre mühendisleri, şehir plancıları ve yerel halktan gönüllü katılımcılarla gerçekleştirilmiştir. Bu görüşmeler aracılığıyla hem kurumsal karar süreçleri hem de yerel halkın yeniden yapılanmaya ve çevresel dönüşüme ilişkin

algıları anlaşılmaya çalışılmıştır. Görüşmeler, anonimlik ilkesi çerçevesinde analiz edilmiş ve içerik analizi tekniğiyle tematik olarak sınıflandırılmıştır.

Saha gözlemleri, 2023 yılı Haziran ve Eylül ayları arasında üç ayrı saha ziyareti ile gerçekleştirilmiştir. Gözlemler sırasında moloz döküm alanları, doğal yaşam alanları, su kaynakları, yeşil alanlar ve yeniden yapılaşma bölgeleri yerinde incelenmiştir. GPS ile işaretlenen gözlem noktaları, mekânsal analiz amacıyla CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) yazılımları aracılığıyla haritalanmıştır.

Toplanan veriler, nitel veri analiz teknikleriyle (içerik analizi, açık kodlama) değerlendirilmiş; karşılaştırmalı olarak ekolojik duyarlılık ve sürdürülebilirlik ilkeleri bağlamında yorumlanmıştır. Bulgular, literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılarak genellenebilir sonuçlar yerine bağlamsal çıkarımlar sunmayı hedeflemektedir.

4. Bulgular

4.1. Ekolojik Zararlar ve Doğal Yapıdaki Bozulmalar

Bu bölümde, saha gözlemleri, yarı yapılandırılmış görüşmeler ve belge incelemeleri yoluyla elde edilen veriler doğrultusunda İslahiye ilçesindeki deprem sonrası ekolojik tahribatın boyutları ve yeniden yapılanma süreçlerinin çevresel etkileri çok boyutlu olarak ele alınmaktadır. Bulgular, iki ana başlık altında sınıflandırılmıştır: (1) Ekolojik tahribat ve çevresel etkiler, (2) Yeniden yapılanma uygulamalarının çevresel sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi.

4.2. Jeomorfolojik ve Ekolojik Etkiler

Depremin ardından İslahiye’de gözlemlenen çevresel tahribat, yalnızca yapılı çevre ile sınırlı kalmamış; tarım arazileri, su kaynakları, biyoçeşitlilik ve ekosistem bütünlüğü üzerinde de ciddi etkiler yaratmıştır:

Afet sonrası birçok tarım alanının kullanılmaz hâle geldiği ve bir kısmının geçici enkaz alanı olarak değerlendirildiği gözlemlenmiştir. Bu durum, toprak kalitesinde düşüşe ve üretkenlikte azalmaya yol açmıştır.

Bazı dere yataklarının ve kaynak sularının molozla tıkanması, suyun doğal akışını bozmuş ve kirlilik oranını artırmıştır. Özellikle küçük ölçekli kaynaklarda tortulaşma ve bulanıklık dikkat çekmiştir.

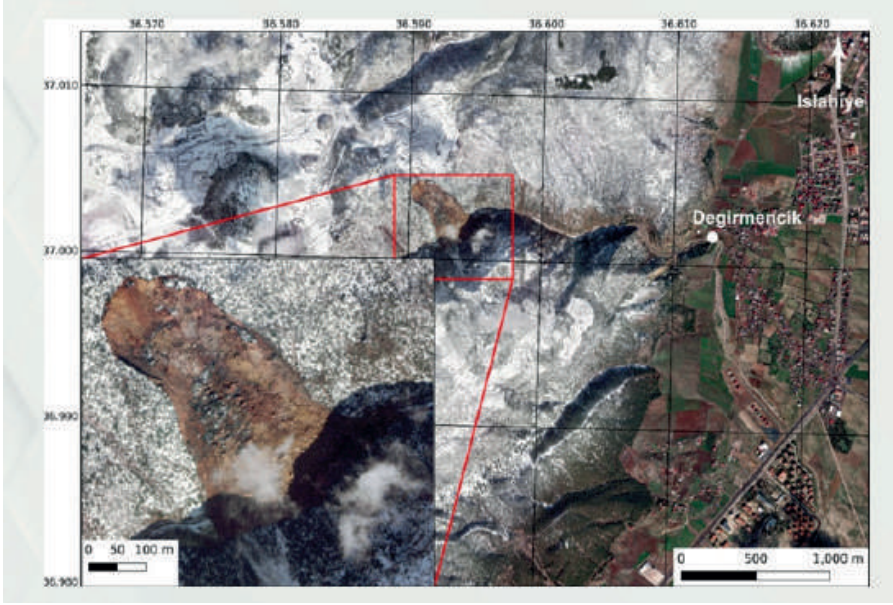
Bölgede yaşayan bazı kuş ve böcek türlerinin göç ettiği ya da popülasyonlarının azaldığı tespit edilmiştir. Ekosistem bütünlüğünde kayıplar yaşandığı yerel gözlemlerle desteklenmiştir.

İlçedeki korulukların bir kısmı zarar görmüş, kalan alanlarda ise bakım eksikliği nedeniyle bozulma gözlemlenmiştir.

Çok geniş bir alanda dağılım gösteren kütle hareketlerinin büyük bir yüzdesinin kaya düşmeleri tipinde gelişmiştir. Bu kütle hareketleri içerisinde özellikle, Gaziantep, İslahiye’de Değirmencik Mahallesi ile İdilli Yolu üzerinde gelişen ve İdilli Deresini tamamen bloklayan bir alanda gerçekleşmiştir. Bu heyelan gerisinde setlediği İdilli Deresi orta çığırında bir göl oluşturmuştur. Şekil 1 ve Şekil 2 (İTÜ Deprem Ön Raporu, 2023).



Şekil 1. Ulaşım ağını etkileyen kaya düşmeleri ve yakından görüntüleri (Kaynak görüntü: MAXAR - 2023)

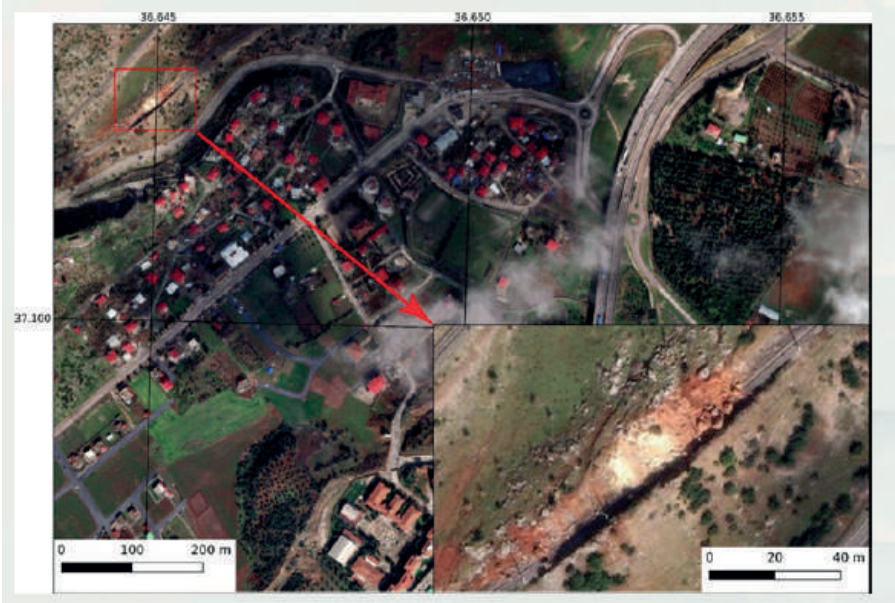


Şekil 2. İslahiye (Gaziantep) Değirmencik dolayında İdilli Deresini setleyen heyelan (Kaynak görüntü: MAXAR - 2023).

Ağırlıklı olarak kaya düşmelerini (Şekil 3. ve Şekil 4.) tetikleyen deprem diğer benzer büyüklükteki depremlerle karşılaştırıldığında, heyelan bakımından ortalama sayısı ve toplam yüzey alanı düşük olarak gözlenmiştir(2023_itu_deprem_on_raporu).



Şekil 3. İslahiye (Gaziantep) kuzeyindeki kaya düşmeleri (Kaynak görüntü: MAXAR - 2023).



Şekil 4. Nurdagi kuzeybatısında depremin tetiklediği kaya düşmeleri (Kaynak görüntü: MAXAR - 2023).

4.3. Yeniden Yapılanma Değerlendirilmesi

Deprem sonrası hızla başlatılan yeniden yapılanma faaliyetleri, kısa vadede barınma sorununu çözmeye odaklansa da, uzun vadeli çevresel etkiler açısından çeşitli sorunlar barındırmaktadır:

Yeni yapıların çoğu yerel iklim ve coğrafya göz ardı edilerek inşa edilmiştir. Bu durum, enerji verimliliğinde düşüşe neden olmuştur.

Yapımda kullanılan malzemelerin büyük bölümü dışarıdan temin edilmiş, yerel ve çevreci çözümlere yeterince yer verilmemiştir.

Yeni konut alanlarında sürdürülebilirlik adına önemli uygulamalara rastlanmamış; yağmur suyu yönetimi gibi sistemler hayata geçirilmemiştir.

Enkaz atıklarının çevresel etkileri dikkate alınmadan tarım alanlarına döküldüğü tespit edilmiştir.

Bu bulgular, deprem sonrası hızlı müdahale süreçlerinin çevresel planlama ile yeterince entegre edilmediğini ve sürdürülebilir yeniden yapılanma ilkelerinin uygulamada büyük ölçüde göz ardı edildiğini ortaya koymaktadır. Ekolojik risklerin azaltılması ve doğayla uyumlu bir iyileşme sürecinin tesisi için planlama ve uygulama mekanizmalarının çevresel veriler ışığında yeniden yapılandırılması gerekmektedir.

5. Tartışma

Yapılan incelemeler, afet sonrası planlamalarda çevresel duyarlılığın ön planda tutulmadığını göstermektedir. Standart tip konutlar, doğaya uyumlu olmayan yapılar ve sınırlı yeşil alan planlaması sürdürülebilirliği zayıflatmaktadır. Oysa doğa-temelli çözümler, hem iklim uyumu hem de sosyal toparlanma açısından kritik öneme sahiptir. Yerel halkın sürece katılımının sağlanmaması da planlama sürecini zayıflatmaktadır.

Bu çalışmada elde edilen bulgular, İslahiye ilçesinde 6 Şubat 2023 depremleri sonrasında yürütülen yeniden yapılanma faaliyetlerinin büyük ölçüde fiziksel iyileştirmeye odaklandığını; ekolojik denge, sürdürülebilirlik ve çevresel planlama gibi boyutların ise yeterince gözetilmediğini ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, mevcut afet sonrası yeniden yapılanma modellerinin doğa-temelli planlama ilkelerinden uzaklaştığını ve uzun vadeli çevresel riskleri artırabilecek nitelikte olduğunu göstermektedir.

Öncelikle, çevresel etkilerin ön değerlendirilmeden yürütülen yeniden yapılanma uygulamaları, kısa vadede konut açığını kapatsa da uzun vadede yeni çevresel sorunlara zemin hazırlamaktadır. Literatürde Berke ve Campanella (2006), afet sonrası planlamaların sadece yıkılanı tekrar inşa etmek değil, aynı

zamanda “daha iyi, daha dirençli ve daha sürdürülebilir” yerleşimler kurmak olduğunu vurgulamaktadır. Ancak Islahiye örneğinde, standart tip projelerin ve hızlı inşa süreçlerinin bu idealden uzaklaştığı görülmektedir.

Moloz yönetimi özelinde elde edilen bulgular, afet atıklarının doğrudan tarım arazilerine ve su kaynakları yakınına dökülmesi gibi uygulamaların ciddi ekolojik riskler yarattığını ortaya koymaktadır. Bu durum, Ahern’in (2011) “ikincil afet riski” tanımıyla örtüşmekte; yani birincil afeti takip eden çevresel müdahaleler, başka afet risklerini (örneğin su kirliliği, erozyon, toprak kaybı) tetikleyebilmektedir.

Islahiye’de gözlemlenen yeşil altyapı eksiklikleri de dikkat çekicidir. Yeniden yapılan konut bölgelerinde yağmur suyu yönetimi, yeşil alan oranı ve mikro iklim düzenleyici unsurların ihmal edilmesi, afet sonrası toparlanma sürecini yalnızca fiziksel değil, sosyal ve psikolojik açıdan da olumsuz etkilemektedir. Bu bağlamda, UN-Habitat (2020) raporlarında afet sonrası “ekolojik rehabilitasyonun”, yalnızca doğal sistemleri değil aynı zamanda toplum sağlığını ve dayanıklılığını da desteklediği vurgulanmaktadır.

Ayrıca, yerel toplulukların planlama sürecine katılımının sınırlı olması, çevreye duyarlı uygulamaların yaygınlaşmasını engelleyen bir diğer önemli faktördür. Yarı yapılandırılmış görüşmeler, halkın yeniden yapılaşma sürecine dair önemli bilgi ve beklentilere sahip olduğunu; ancak karar alma mekanizmalarına dahil edilmediğini göstermiştir. Oysa katılımcı planlama, yalnızca demokratik bir hak değil, aynı zamanda planların çevresel sürdürülebilirlik ve toplumsal kabul açısından daha etkili olmasını sağlayan temel bir ilkedir (Innes ve Booher, 2004).

Literatürle karşılaştırıldığında, Türkiye’deki afet sonrası yeniden yapılanma süreçlerinin çevre odaklılık açısından sınırlı kaldığı, planlama ölçeğinde ekosistem temelli yaklaşımların yeterince uygulanmadığı görülmektedir. Oysa Japonya, Şili ve Yeni Zelanda gibi deprem kuşağında yer alan bazı ülkelerde, doğa-temelli çözümler (nature-based solutions), afet sonrası toparlanmanın ayrılmaz bir parçası haline getirilmiştir. Islahiye için bu tür uygulamaların benimsenmesi, sadece çevreyi değil, ekonomik ve sosyal sistemleri de uzun vadeli olarak destekleyecektir.

Bu bağlamda, elde edilen bulgular ışığında önerilen yaklaşım; çok ölçekli, katılımcı, doğa-temelli ve uzun vadeli planlama anlayışının benimsenmesidir. Planlama süreci, yalnızca mühendislik çözümleriyle değil; ekolojik, sosyal ve kültürel dinamikleri birlikte ele alarak şekillendirilmelidir.

Yapılan görüşmeler, yerel halkın da doğayla daha uyumlu bir yerleşim arzusu taşıdığını ortaya koymuştur. Bu bağlamda, sürdürülebilir mimari tasarımlar,

pasif enerji kullanımı, yerel malzeme kullanımı ve kentsel yeşil altyapının artırılması önemli fırsatlar sunmaktadır.

6. Öneriler

6.1. Çevresel Planlama ve Ekosistem Temelli Yaklaşımın Güçlendirilmesi

Ekolojik Tabanlı Mekânsal Planlama: Yeniden yapılanma süreçleri, doğal eşiklerin (dere yatakları, heyelan riski taşıyan bölgeler, tarım arazileri vb.) dikkate alındığı, ekosistem hizmetlerini önceliklendiren planlama yaklaşımlarıyla yürütülmelidir. Her yerleşim birimi için detaylı ekolojik etki analizleri yapılmalı ve sonuçlar imar planlarına entegre edilmelidir.

Yeni konut alanlarında sürdürülebilirlik adına önemli uygulamalara rastlanmamış; yağmur suyu yönetimi gibi sistemler hayata geçirilmemiştir.

6.2. Moloz ve Atık Yönetimi Politikalarının Geliştirilmesi

Enkaz atıklarının çevresel etkileri dikkate alınmadan tarım alanlarına döküldüğü tespit edilmiştir.

Geri Dönüşüm ve Yeniden Kullanım: İnşaat atıklarının ayrıştırılarak yeniden kullanılabilir hale getirilmesi için mobil geri dönüşüm tesisleri kurulmalı ve bu süreçte yerel işgücünden yararlanılarak ekonomik katkı sağlanmalıdır.

6.3. Toplumsal Katılımın ve Kurumsal İşbirliğinin Artırılması

Katılımcı Planlama Mekanizmaları: Yerel halk, sivil toplum kuruluşları ve meslek odalarının planlama süreçlerine aktif olarak dahil edilmesi sağlanmalıdır. Bu amaçla düzenli olarak çevresel istişare toplantıları ve ortak karar alma platformları kurulmalıdır.

Kurumsal Koordinasyon: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı başta olmak üzere yerel yönetimler, akademi ve uzman kuruluşlar arasında işbirliği artırılmalı; afet sonrası süreçlerde çevresel uzmanlık içeren disiplinlerin planlama süreçlerine katılımı zorunlu hale getirilmelidir.

6.4. Doğa Temelli Çözümlerle Dayanıklılığın Artırılması

Afet Risklerinin Doğayla Azaltılması: Su taşkınlarını önlemek için dere yataklarının doğal formuna uygun şekilde rehabilite edilmesi, toprak kaymalarını engellemek için yerli türlerle yeniden ağaçlandırma yapılması gibi doğa-temelli çözümler afet risklerini azaltmada öncelikli hale getirilmelidir.

Ekolojik Rehabilitasyon Programları: Tahrip olan ekosistemlerin yeniden canlandırılması amacıyla ekolojik rehabilitasyon programları hazırlanmalı; bu programlar kapsamında endemik türlerin korunması, tarım alanlarının iyileştirilmesi ve doğal yaşam alanlarının eski haline döndürülmesi hedeflenmelidir.

6.5. Eğitim, Farkındalık ve İzleme Süreçlerinin Kurumsallaştırılması

Çevresel Farkındalık Programları: Yerel halkın çevresel etkiler konusunda bilinçlendirilmesi amacıyla eğitim kampanyaları, okul programları ve topluluk çalışmaları düzenlenmelidir.

İzleme ve Değerlendirme Sistemleri: Yeniden yapılanma sürecinde uygulanan çevresel politikaların ve projelerin etkinliğini değerlendirmek üzere bağımsız izleme mekanizmaları kurulmalıdır. Bu sistemler aracılığıyla çevresel bozulmalar erken dönemde tespit edilip müdahale edilmelidir.

7. Sonuç

Bu çalışma, 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremlerin ardından Gaziantep'in İslahiye ilçesinde yürütülen yeniden yapılanma faaliyetlerini çevresel sürdürülebilirlik ve ekolojik denge perspektifinden değerlendirmeyi amaçlamıştır. Elde edilen bulgular ve yapılan analizler, afet sonrası müdahalelerin büyük oranda fiziksel yapılaşmaya odaklandığını, ancak çevresel etkilerin yeterince dikkate alınmadığını açık bir biçimde ortaya koymuştur.

Deprem sonrasında ortaya çıkan moloz yığınları, doğal alanların tahribatı, su kaynaklarının kirlenmesi ve tarım alanlarının kaybı, ekolojik açıdan önemli tehditler yaratmıştır. Ayrıca yeniden inşa edilen yapıların çoğunda yerel iklim verileri, doğal topoğrafya ve ekosistem özelliklerinin dikkate alınmadığı, bu durumun ise doğal kaynak tüketimini artırarak uzun vadede çevresel sürdürülebilirliği tehdit ettiği saptanmıştır.

Yeniden yapılanma süreçlerinde gözlenen standartlaşmış, merkezîyetçi ve çevresel veriden yoksun planlama anlayışı, yerel ihtiyaçları ve çevresel gerçekliği ikinci plana itmiş; bu da hem toplumsal aidiyetin zayıflamasına hem de doğa ile uyumlu yerleşim modellerinin oluşmamasına neden olmuştur. Ayrıca, yerel halkın sürece yeterince dahil edilmemesi, sosyo-ekolojik sistemlerin dayanıklılığı açısından önemli bir zayıflık olarak tespit edilmiştir.

Çalışmada elde edilen bulgular, doğa-temelli çözümler, katılımcı planlama, yeşil altyapı entegrasyonu ve ekosistem temelli arazi kullanım kararlarının afet

sonrası iyileşme süreçlerinde kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, sadece İslahiye değil, Türkiye’nin deprem riski taşıyan tüm bölgeleri için bütüncül bir afet sonrası yeniden yapılanma çerçevesi geliştirilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, afet sonrası yeniden yapılanma yalnızca yıkılanı yeniden yapmak değil; daha dirençli, çevreyle uyumlu ve toplumsal olarak kapsayıcı yaşam alanları inşa etmek anlamına gelmelidir. İslahiye örneği, bu hedefe ulaşmanın zorluklarını ve eksikliklerini somut bir şekilde ortaya koymakla birlikte; aynı zamanda sürdürülebilir bir dönüşüm için önemli bir fırsat da sunmaktadır. Bu fırsatın değerlendirilebilmesi için, çevresel verilerin planlamaya entegre edildiği, yerel halkın sürece aktif katılım gösterdiği ve doğayla uyumlu yaşamın esas alındığı yeni bir planlama paradigmasının geliştirilmesi zorunludur.

Kaynakça

- Ahern, J. (2011). From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. *Landscape and Urban Planning*, 100(4), 341–343. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.02.021>
- Berke, P. R., & Campanella, T. J. (2006). Planning for postdisaster resiliency. *The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science*, 604(1), 192–207. <https://doi.org/10.1177/0002716205285533>
- Birkmann, J., & von Teichman, K. (2010). Integrating disaster risk reduction and climate change adaptation: Key challenges—Scales, knowledge, and norms. *Sustainability Science*, 5(2), 171–184. <https://doi.org/10.1007/s11625-010-0108-y>
- Innes, J. E., & Booher, D. E. (2004). Reframing public participation: Strategies for the 21st century. *Planning Theory & Practice*, 5(4), 419–436. <https://doi.org/10.1080/1464935042000293170>
- Kelman, I., Gaillard, J. C., & Mercer, J. (2015). Climate change's role in disaster risk reduction's future: Beyond vulnerability and resilience. *International Journal of Disaster Risk Science*, 6(1), 21–27. <https://doi.org/10.1007/s13753-015-0038-5>
- Kılınç, M., & Yılmaz, E. (2023). 2023 Kahramanmaraş Depremleri Sonrası Kent-sel Yeniden Yapılanma Süreci: Planlama, Yönetişim ve Sürdürülebilirlik. *Planlama*, 33(1), 45–66. <https://doi.org/10.14744/planlama.2023.10152>
- Sýkora, L., & Bouzarovski, S. (2012). Multiple transformations: Conceptualising the post-communist urban transition. *Urban Studies*, 49(1), 43–60. <https://doi.org/10.1177/0042098010397402>
- UN-Habitat. (2020). Climate action and urban resilience: UN-Habitat's contribution to the implementation of the Paris Agreement. *United Nations Human Settlements Programme*.
- Van der Vegt, G., Essens, P., Wahlström, M., & George, G. (2015). Managing risk and resilience. *Academy of Management Journal*, 58(4), 971–980. <https://doi.org/10.5465/amj.2015.4004>
- Yılmaz, S., & Türker, M. F. (2019). Afet sonrası yeniden yapılanma sürecinde katılımın önemi: Van depremi örneği. *İmar ve Kentleşme Dergisi*, 16(1), 29–42.

Fen Bilimleri ve Matematik Üzerine Disiplinlerarası Çalışmalar - II

Editör:

Prof. Dr. Femin YALÇIN KÜÇÜKBAYRAK