



T.C.
KIRKLARELI ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ DERGİSİ
Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü
Rektörlük Kültür Merkezi B-Blok 39100 Merkez/KIRKLARELİ
fbedergi@klu.edu.tr
<http://fbedergi.klu.edu.tr>

KIRKLARELI ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ DERGİSİ



KIRKLARELI ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ DERGİSİ



KIRKLARELI UNIVERSITY
JOURNAL OF ENGINEERING AND SCIENCE

An International Peer Reviewed, Indexed and Open Acces Journal

ISSN: 2458-7494 / E-ISSN: 2458-7613

Cilt/Volume 3, Sayı/Number 1, Haziran/June 2017



ISSN : 2458-7494
E-ISSN: 2458-7613

KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

KIRKLARELİ UNIVERSITY
JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

Cilt / Volume: 3

Sayı / Number: 1

Haziran / June 2017

Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü

<http://fbedergi.klu.edu.tr>

e-mail:fbedergi@klu.edu.tr

editor@klu.edu.tr



KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ / KIRKLARELİ UNIVERSITY
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ / JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

Sahibi / Owner

Kırklareli Üniversitesi Rektörlüğü Adına / Owner on Behalf of Kırklareli Rectorship
Prof. Dr. Bülent ŞENGÖRÜR (Rektör)

Editör / Editor

Doç. Dr. Erol TÜRKEŞ

Yardımcı Editörler / Associate Editors

Yrd. Doç. Dr. Burak ÖZŞAHİN
Yrd. Doç. Dr. Erdiñ KESKİN

Yayın Kurulu / Editorial Board

Prof. Dr. Bülent ŞENGÖRÜR
Prof. Dr. A. Sabih ATADAN
Doç. Dr. Erol TÜRKEŞ
Doç. Dr. Meryem ÇAMUR
Doç. Dr. Serpil AKÖZCAN
Yrd. Doç. Dr. Burak ÖZŞAHİN
Yrd. Doç. Dr. Erdiñ KESKİN
Yrd. Doç. Dr. Sencer Süreyya KARABEYOĞLU

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Editing Manager

Davut CEYLAN

İnternet Adresi / Web Address

<http://fbedergi.klu.edu.tr>

Yazışma Adresi / Correspondence Address

Kırklareli Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü
Rektörlük Kültür Merkezi B Blok Merkez/ Kırklareli
e-mail: fbedergi@klu.edu.tr
Tel: 0 (288) 246 15 16
Fax: 0 (288) 246 16 02

Baskı / Publisher

Kırklareli Üniversitesi Matbaası / Kırklareli University Publishing Centre

Yayın Türü / Publication Type

Yaygın Süreli Yayın / International Periodical

Yılda iki kez yayınlanır: Haziran, Aralık / Twice a year: June, December

Bu sayı 100 adet basılmıştır / This issue published as 100 copies

Basım Tarihi / Publication Date: 30.06.2017



KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ / KIRKLARELİ UNIVERSITY
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ / JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

Danışma Kurulu / Advisory Board

Abdurrahman GÜNER, İstanbul Esenyurt Üniversitesi, İstanbul
A. Fevzi BABA, Marmara Üniversitesi, İstanbul
A. Sabih ATADAN, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Aleksandar GEORGIEV, Sofya Teknik Üniversitesi, Bulgaristan
Asım KURTOĞLU, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Bilal BALKAN, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Bülent AKBAŞ, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli
Bülent ŞENGÖRÜR, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Deris STIAWAN, Sriwijaya University, Endonezya
Emrah DOĞAN, Sakarya Üniversitesi, Sakarya
Erhan BUDAK, Sabancı Üniversitesi, İstanbul
Erol TÜRKEŞ, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Fahri VATANSEVER, Uludağ Üniversitesi, Bursa
F.Onur HOCAOĞLU, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar
Gökhan GÖKMEN, Marmara Üniversitesi, İstanbul
Göksel DEMİR, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Hasan DEMİR, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ
Hatice ŞANLIDERE ALOĞLU, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
İsmail KIYAK, Marmara Üniversitesi, İstanbul
Kadir GÜLER, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
Kanat Burak BOZDOĞAN, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale
Kamil KAHVECİ, Trakya Üniversitesi, Edirne
Lambros EKONOMOU, Hellenic American University, Yunanistan
M. Hakan HOCAOĞLU, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli
Meryem ÇAMUR, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
M.S. Bhaskar RANJANA, Marathwada Institute of Technology, Hindistan
Murat BOSTANCIOĞLU, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas
Murat KARAHAN, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya
Mustafa BİRİNCİ, İnönü Üniversitesi, Malatya
Nadide SEÇKİN, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Oğuzhan ERBAŞ, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya
Osman KILIÇ, Marmara Üniversitesi, İstanbul
Osman Nuri UÇAN, İstanbul Kemerburgaz Üniversitesi, İstanbul
Özlem AYTEKİN, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Ramazan ÇAĞLAR, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
Sarp ERTÜRK, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli
Serpil AKÖZCAN, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Sezai TAŞKIN, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa
Veselina Nedeva, Trakia Üniversitesi, Bulgaristan
Yılmaz ÇAN, Trakya Üniversitesi, Edirne
Youcef Soufi, University of Tébessa, Cezayir
Yunus BİÇEN, Düzce Üniversitesi, Düzce
Yüksel OĞUZ, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar
Zafer AĞDELEN, Girne Amerikan Üniversitesi, KKTC
Witold Charatonik, University of Wroclaw, Polonya



KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ / KIRKLARELİ UNIVERSITY
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ / JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

İçindekiler / Contents

Erol TÜRKES; CHATTER STABILITY ANALYSIS APPROACH FOR STABILITY ANALYSIS OF ROTATING MACHINERY VIBRATIONS.....	1-17
Özge YAZICIOĞLU, T. Yaşar KATIRCIOĞLU; APPLICATIONS OF PLASMA TECHNOLOGY IN ENERGY SECTOR.....	18-44
Mutlu İÇHEDEF; LR 115 TİP 2 DEDEKTÖRLERİNDEKİ İZ YOĞUNLUKLARININ FARKLI MİKROSKOP LENSLERİ İLE BELİRLENMESİ.....	45-55
İsmail KILIÇ, Ali Haydar GÜLTEKİN; TARİHİ EDİRNE GAR BİNASINDA KULLANILAN KUMTAŞLARINDA GÖRÜLEN BOZULMA NEDENLERİ.....	56-67
Ali MÜLAYİM; İÇ MEKÂN DÜZENLEMESİNDE ENGELLİLERE YÖNELİK ÇÖZÜM ÖNERİLERİ.....	68-94

CHATTER STABILITY ANALYSIS APPROACH FOR STABILITY ANALYSIS OF ROTATING MACHINERY VIBRATIONS

Erol Türkeş*¹

*Kırklareli University, Department of Mechanical Engineering, Kayalı Campus. Kırklareli/TÜRKİYE
erol.turkes@klu.edu.tr*

Abstract

Vibration caused by mass imbalance is an important factor limiting the performance and fatigue life of the rotating system. Therefore, a balancing procedure is necessary for rotating systems. Spindle is the main mechanical component in machining centers. Its performance has a direct impact on the machining productivity and surface quality of the workpiece. In this paper, regenerative chatter analysis approach is used for vibrations of rigid rotors with a massless elastic shaft. This approach is firstly applied in literature by this study. In this study, Stability Lobe Diagram (SLD) is plotted the boundary between stable and unstable rotations as a function of spindle speed and imbalance mass. SLD process can be easily applied between spindle length, balancing mass amount, location of balancing mass on rotor etc. variable parameters and spindle speeds for stable rotating system.

Key words: Rotating machinery, Vibration, Stability analysis

DÖNER MAKİNA TİTREŞİMLERİNİN STABİLİTE ANALİZİ İÇİN TIRLAMA STABİLİTE ANALİZİ YAKLAŞIMI

Özet

Kütle dengesizliğinden kaynaklanan titreşim, döner sistemlerin performansını ve yorulma ömrünü sınırlayan önemli bir etkidir. Bu sebeple döner sistemler için bir dengeleme işlemi gereklidir. Mil, işleme merkezlerinin en önemli bileşenidir. Onun performansının işleme verimliliği ve işlenen parçanın yüzey kalitesi üzerinde direkt etkisi vardır. Bu çalışmada, rejeneratif tirlama analizi yaklaşımı, kütsüz elastik shaftlı rijit rotorların titreşimlerinde kullanılmıştır. Bu yaklaşım literatürde ilk olarak bu çalışmada uygulanmıştır. Bu çalışmada Stabilite Lob Diyagramı (SDD), mil hızı ve dengesizlik kütesinin bir fonksiyonu olarak kararlı ve karasız dönüşler arasındaki sınırdaki çizilmiştir. SLD, mil uzunluğu, dengeleyici kütle miktarı, dengeleyici kütle konumu vb. değişken parametreler ile stabil döner sistemlerin mil hızları arasında kolaylıkla uygulanabilir.

Anahtar Kelimeler: Döner Makineler, Titreşim, Stabilite Analizi

*¹ Erol Türkeş, erol.turkes@klu.edu.tr

1. INTRODUCTION

Rotating machine elements are commonly used in mechanical systems. For example, machine tools, aircraft gas turbine engines etc. have rotating equipment. Vibration due to mass imbalance is a general issue in rotating machine elements. Imbalance occurs if the rotating axis of inertia of the rotating machine element (rotor) is not coincident with geometric axis of rotating machine element. As known, higher spindle speeds generate much greater centrifugal imbalance forces. Hence, the tendency of the rotating machine element towards high power requirements leads to higher operating speeds. Generally, chatter vibrations are one of the most critical limiting factors considered in machine tool design. The centrifugal force on rotating cutting system of machine tool becomes periodically variable, reaching considerable amplitudes and machine tool system becomes shutdown. Therefore, vibration suppression of rotating machine element is difficult and important engineering problem. Vibration control is necessary in achieving longer bearing life, spindle life, and tool life in high-speed machining. Also, vibration control is very important for improving machining surface finish and reducing the number of unexpected shutdowns. Significant cost savings for high-speed turbines, compressors etc. and power generation stations can be achieved using a variety of vibration control analysis methods [1, 2]. Many techniques have been presented to reduce within acceptable limits this vibration on machines: off-line balancing methods [3], on-line active balancing methods using mass redistribution devices [4-7], and on-line active balancing methods using magnetic bearings [8-11]. These on-line methods can be applied during rotor operation if the rotation speed is constant.

The manufacture process in many factories is extremely automated and requires which the turning, milling, drilling and grinding operations run for predictable time periods to maintaining production throughput. This means that with existing cutting tools and equipment, machine tools must operate at a range of operating speeds up to 12,000 rpm, with an unplanned number of holds. Today's modern machine tools can operate from 16,000 rpm up to a maximum of 80,000 rpm. There is a need to apply High Speed Machining (HSM) technology to new areas to increase productivity, reduce costs and delivery time, and increase processing sensitivity of complex features. Cutting performance in HSM is driven primarily by tool holder, tool and spindle dynamics. Generally, vibration analysis can be easily discriminated from oscillation effects of machine tools due to the much stricter and lower frequency dynamics of the structure of machine tools. Cutting tool and work spindle of machine tool interaction critical and difficult to intuitively predict. Machine tools consist of a machining process, a machining process model, a structural model and a feedback loop. The cutting force on the cutting tool depends on the feed rate, cutting depth and cutting speed. This dynamic shear forces cause a relative displacement between the tool and the

workpiece by stimulating the structural model of the tool and/or workpiece. These displacements then modulate the cutting feed and/or depth by means of the displacement feedback and possibly cause excited instability. To solve the stability problem, the system characteristic equation can be derived and solved to obtain the stability limit with respect to the depth of cut. Problem of rotating cutting tool of machine tool can be analyzed in one of two methods. The stability analysis can be carried out at stationary inertia coordinates; the directional coefficients of the force components in these coordinates change periodically with time. Or, this stability analysis can be done in the rotating coordinate space of the cutting tool, in which case the directional force coefficients are not time dependent. However, in the latter method, the two orthogonal coordinates of the cutting tool are dynamically combined as a function of spindle speed. For rotary tool machining, such as milling, drilling and cylinder drilling, the tool rotation causes the machining force on each tooth to rotate repeatedly with respect to the inertia coordinate frame. This is different than stationary tool machining, such as turning or boring in which the force directions are fixed relative to the inertial frame. Stability analysis for rotating tools is extensively investigated in the milling and grinding process, but the process is interrupted and therefore changes over time, leading to analysis methods that are analytically approximate or use time domain simulations [12]. In this study, a chatter stability analysis approach for stability analysis of a rigid rotor's vibrations is presented. This approach was firstly applied for rigid rotors as rotating shaft. Stability Lobe Diagram (SLD) is plotted the boundary between stable and unstable rotations as a function of spindle speed of machine tools and imbalance mass. Therefore, firstly, modal analysis is performed for spindle-rotor system in perpendicular to each other direction. Model analysis of the cutting system is performed by impact force hammer set and CutPro 8 software. Hence, equivalent mass, damping ratio, stiffness and natural frequency of spindle-rotor system are determined. Acting forces on the rotor are determined by a force dynamometer.

2. MODELING OF DYNAMIC ROTOR SYSTEM

The planar rotor model (PRM) is the simplest model for mathematical modeling. Because, only the motion of dynamic rotor system in the plane (x - y), that is perpendicular to the rotating elastic spindle (shaft), is take into accounted. Even though the PRM is pretty simple rotor model, as critical speed, damping effect, it can be used to investigate the principal phenomenon of rotating disc dynamics as well. The rotor in the PRM is modeled as a rigid disc supported by a massless elastic spindle mounted on stationary solid bearings. Also, it is suitable to a solid spindle supported by elastic bearings. A significant development over the simple PRM is which the movement of the rotor is shown by solid form movement instead of

particle movement. Although PRM is a single solid rotating disc (rotor) model, it can represent the basic some event in the movement of the rotor, including the forward and backward whirling under imbalance force, the gyroscopic effect, critical speeds, and so on. In fact, the natural frequency of the system is a function of the number of cycles (spindle speed) that can be estimated by this PRM. The geometric and force setup of the planar rotor model is shown in Figure 1. In this model, the vibration caused by the imbalance is defined by the particle motion of the discrete geometric center. Here, P is the discrete geometric center and G is the discrete mass center.

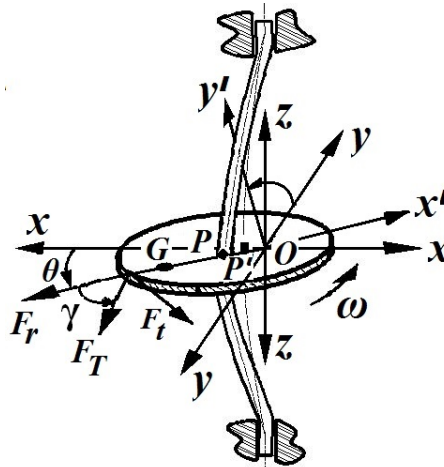


Figure 1. Geometric and Force Setup of the Rigid Rotor Model

Where, θ is the rotating angle of the rotor, x, y, z are rotor coordinate frame through the geometric center of the shaft and/or of the disc (O), x', y' are coordinate transformation with θ . P is the geometric center of the disk, P' is the displacement of the P due to vibration and G is the mass center of the disk. F_r, F_t and F_T are radial, tangential and centrifugal total forces respectively. The equations of motion of the rotating system with a constant spindle speed (ω_z), can be derived in the rotational coordinates;

$$\begin{aligned}
 m_x \ddot{x}(t) + c_x \dot{x}(t) + k_x x(t) &= -F_{Tx}(t) \\
 m_y \ddot{y}(t) + c_y \dot{y}(t) + k_y y(t) &= -F_{Ty}(t)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

where $m_{x,y}$, $c_{x,y}$, and $k_{x,y}$ are the mass, the viscous damping coefficient, and the shaft-stiffness coefficient on the x and y directions, respectively. Total force ($F_T(t)$) is can be expressed as;

$$F_T(t) = \sqrt{F_r(t)^2 + F_t(t)^2} \tag{2}$$

where radial ($F_r(t)$) and tangential ($F_t(t)$) forces are can be expressed as;

$$F_r(t) = m_b \bar{a}_x^n(t) = m_b h(t) \bar{\omega}_z^2(t)$$

$$F_t(t) = m_b \bar{a}_x^t(t) = m_b h(t) \bar{\alpha}_z(t) \tag{3}$$

Where m_b is imbalance mass of the rotating disc. For a constant rotating speed ($\dot{\theta}(t) = \bar{\omega}_z(t) = \bar{\omega}_z = cons.$), $\ddot{\theta} = \alpha$ is zero. If angular acceleration is not zero ($\alpha \neq 0$), the equations of motion of the system are expressed as;

$$m_x \ddot{x}(t) + c_x \dot{x}(t) + k_x x(t) = -F_{Tx}(t) = -F_T(t) \cos \theta(t) \cos \gamma(t)$$

$$m_y \ddot{y}(t) + c_y \dot{y}(t) + k_y y(t) = -F_{Ty}(t) = -F_T(t) \sin \theta(t) \sin \gamma(t) \tag{4}$$

Where γ is angle between $F_T(t)$ and $F_r(t)$ as shown in Fig.3.

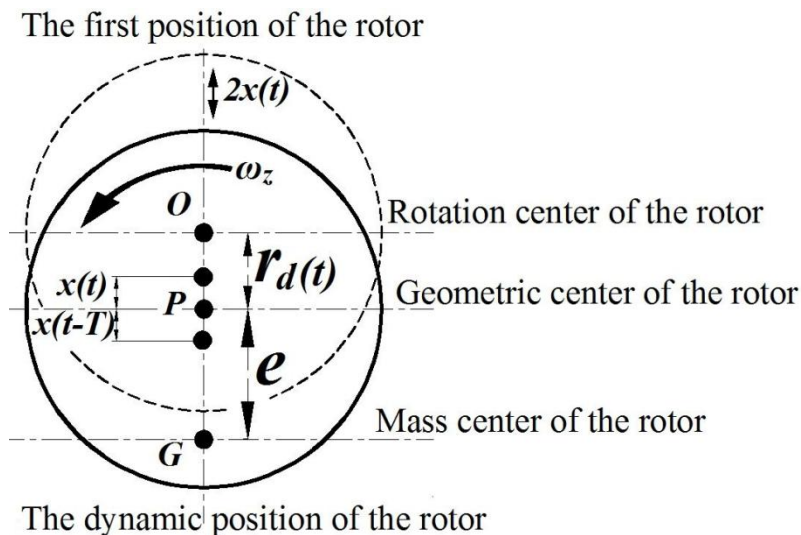


Figure 2. Dynamic position system of the Rigid Rotor Model

Equations (2) and (3) are substituted into Equation (4);

$$m_x \ddot{x}(t) + c_x \dot{x}(t) + k_x x(t) = -m_d h(t) \sqrt{\omega_z^4(t) + \alpha_z^2(t)} \cos \theta(t) \cos \gamma(t)$$

$$m_y \ddot{y}(t) + c_y \dot{y}(t) + k_y y(t) = -m_d h(t) \sqrt{\omega_z^4(t) + \alpha_z^2(t)} \sin \theta(t) \sin \gamma(t) \quad (5)$$

Where $Q(t) = \sqrt{\omega_z^4(t) + \alpha_z^2(t)}$. If angular acceleration is zero ($\alpha \neq 0$), the equations of $Q(t)$ is

$Q(t) = \sqrt{\omega_z^4(t)}$ and $\gamma = 0 \Rightarrow F_T(t) = F_r(t)$. Combining this term with Eq. (5) gives;

$$\begin{aligned} m_x \ddot{x}(t) + c_x \dot{x}(t) + k_x x(t) &= -m_d h(t) Q(t) \cos \beta(t) \\ m_y \ddot{y}(t) + c_y \dot{y}(t) + k_y y(t) &= -m_d h(t) Q(t) \sin \beta(t) \end{aligned} \quad (6)$$

where $h(t) = \overrightarrow{OG}(t)$ is dynamic displacement of through the geometric center of the disk as shown in Fig.1 and Fig.2 and, β is angle between $F_T(t) = F_r(t)$ and mode x direction as shown in Fig.3.

Hence, dynamic displacement ($h(t)$) is can be written as;

$$h(t) = \overrightarrow{OG}(t) = e + r_d(t) = e + r_d - x(t) + x(t - \tau) \quad (7)$$

where $e = |PG|$ is eccentricity between P and G and constant, $x(t) = \overrightarrow{PP'}(t)$ is the present

displacement of the geometric center of the disk from the static position (O), $x(t - \tau) = \overrightarrow{OP'}(t)$ is the displacement of the geometric center of the disk on the previous rotation with the amount of θ of the disk.

Also, $r_d(t) = r_d - x(t) + x(t - \tau)$ is displacement between rotation center of the rotor (during static of the rotor) (O) and geometric center of the rotor (during dynamic of the rotor) (P) of the rotor system. The values of the $r_d(t)$ can be obtained from the case of a centrifugal force equal to the shaft deflection force (Hook's law);

$$F_{shaft}(t) = F_{centr.}(t) \Rightarrow k r_d(t) = m \omega_z^2 [r_d(t) + e]$$

$$\frac{k}{m} r_d(t) = \omega_z^2 [r_d(t) + e] \rightarrow \omega_n^2 = \frac{k}{m}$$

$$\omega_n^2 r_d(t) = \frac{k}{m} r_d(t) = \omega_z^2 [r_d(t) + e] \rightarrow r = \frac{\omega_z}{\omega_n}$$

$$r^2 = \frac{r_d(t)}{[r_d(t) + e]} \quad (8)$$

By resonance condition of the rotating rotor system;

$$\omega_z^2 = \frac{\omega_n^2 r_d(t)(1-r)}{e} \quad \rightarrow \quad r_d(t) = e \frac{r^2}{(1-r^2)} \quad (9)$$

Hence, plotting of the stability lobes can be achieved by scanning the chatter frequencies ($\omega_c = \omega_z$)

around the natural frequency (ω_n) of the structure for the $r = \frac{\omega_z}{\omega_n} = \frac{\omega_c}{\omega_n}$.

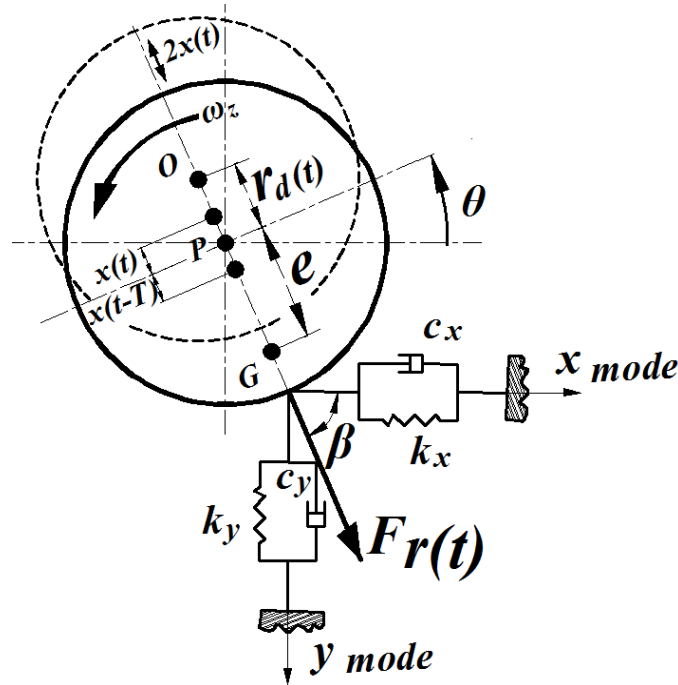


Figure 3. Vibration modes and Radial force ($F_r(t)$) of the dynamic rigid rotor system.

However, for this article $\ddot{\theta} = \alpha$ is zero. Hence, Eq. (6) can be written as;

$$\begin{aligned} m_x \ddot{x}(t) + c_x \dot{x}(t) + k_x x(t) &= -m_d h(t) \omega_z^2(t) \cos \beta(t) \\ m_y \ddot{y}(t) + c_y \dot{y}(t) + k_y y(t) &= -m_d h(t) \omega_z^2(t) \sin \beta(t) \end{aligned} \quad (10)$$

Defining the following terms;

$$K_x(t) = C \cos \beta(t); \quad K_y(t) = C \sin \beta(t) \quad \rightarrow \quad C = \omega_z^2(t) = \text{cons.}$$

The equations of motion can be written as;

$$\begin{aligned} m_x \ddot{x}(t) + c_x \dot{x}(t) + k_x x(t) &= -K_x(t) m_d h(t) \\ m_y \ddot{y}(t) + c_y \dot{y}(t) + k_y y(t) &= -K_y(t) m_d h(t) \end{aligned} \quad (11)$$

By defined the following terms from Eq.(7); $e + x(t - \tau) = x(t - \tau)$; $r_d - x(t) = x(t)$.

Combining these terms with Eq. (11) gives;

$$\begin{aligned} m_x \ddot{x}(t) + c_x \dot{x}(t) + k_x x(t) &= -K_x(t) m_d [x(t) - x(t - \tau)] \\ m_y \ddot{y}(t) + c_y \dot{y}(t) + k_y y(t) &= -K_y(t) m_d [x(t) - x(t - \tau)] \end{aligned} \quad (12)$$

The equations of motions are converted to a form in terms of arc length, (u) , instead of time (t) defined as follows:

$$u = V t \quad \Rightarrow \quad u_t = \frac{du}{dt} = V$$

where V is the mean linear speed of the disk given by:

$V = \frac{\pi d n}{60}$ and, where d is the disk diameter $[m]$, n is spindle speed $[rpm]$. For convenience, the dimensionless equations of motion for this spindle are:

$$\begin{aligned} m_x \left(\frac{du}{dt} \right)^2 x'' + c_x \left(\frac{du}{dt} \right) x' + k_x x &= -K_x(t) m_d [x(u) - x(u - d\pi)] \\ m_y \left(\frac{du}{dt} \right)^2 y'' + c_y \left(\frac{du}{dt} \right) y' + k_y y &= -K_y(t) m_d [x(u) - x(u - d\pi)] \end{aligned} \quad (13)$$

Furthermore, the equations are then simplified somewhat by dividing the x-direction equation through by $m_x \left(\frac{du}{dt} \right)^2 = m_x V^2$ and the y-direction equation by $m_y \left(\frac{du}{dt} \right)^2 = m_y V^2$ and defining the following terms;

$$\begin{aligned} \tilde{c}_x &= \frac{c_x}{m_x V}, & \tilde{k}_x &= \frac{k_x}{m_x V^2}, & \tilde{F}_x &= \frac{-K_x m_d}{m_x V^2} \\ \tilde{c}_y &= \frac{c_y}{m_y V}, & \tilde{k}_y &= \frac{k_y}{m_y V^2}, & \tilde{F}_y &= \frac{-K_y m_d}{m_y V^2} \end{aligned}$$

By simplifications the equations of motion are gives;

$$x'' + \tilde{c}_x x' + \tilde{k}_x x = \tilde{F}_x (x(u) - x(u - d\pi))$$

$$y'' + \tilde{c}_y y' + \tilde{k}_y y = \tilde{F}_y (x(u) - x(u - d\pi)) \quad (14)$$

To obtain of the characteristic equation of system, the equations of motion can be written in matrix form as [13];

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x'' \\ y'' \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{c}_x & 0 \\ 0 & \tilde{c}_y \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x' \\ y' \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{k}_x - \tilde{F}_x & 0 \\ -\tilde{F}_y & \tilde{k}_y \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x \\ y \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{F}_x & 0 \\ \tilde{F}_y & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x(u - d\pi) \\ y(u - d\pi) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (15)$$

Taking the Laplace Transform and determinant to find the characteristic equation of system yields;

$$E(s) = s^4 + (\tilde{c}_x + \tilde{c}_y)s^3 + (\tilde{k}_y + \tilde{c}_x \tilde{c}_y + (\tilde{k}_x - \tilde{F}_x))s^2 + (\tilde{c}_x \tilde{k}_y + \tilde{c}_y (\tilde{k}_x - \tilde{F}_x))s + \tilde{k}_y (\tilde{k}_x - \tilde{F}_x) + (s^2 + \tilde{c}_y s + \tilde{k}_y) \tilde{F}_x e^{-sd\pi} \quad (16)$$

where;

$$a_4 = 1/\tilde{F}_x, \quad a_3 = (\tilde{c}_x + \tilde{c}_y)/\tilde{F}_x, \quad a_2 = (\tilde{k}_y + \tilde{c}_x \tilde{c}_y + (\tilde{k}_x - \tilde{F}_x))/\tilde{F}_x$$

$$a_1 = (\tilde{c}_x \tilde{k}_y + \tilde{c}_y (\tilde{k}_x - \tilde{F}_x))/\tilde{F}_x, \quad a_0 = \tilde{k}_y (\tilde{k}_x - \tilde{F}_x)/\tilde{F}_x$$

Combining these terms with (16) gives:

$$E(s)/\tilde{F}_x = a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0 + (s^2 + \tilde{c}_y s + \tilde{k}_y) e^{-sd\pi} \quad (17)$$

Setting $E(s)$ equal to 0, this becomes:

$$e^{sd\pi} = \frac{-(s^2 + \tilde{c}_y s + \tilde{k}_y)}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \quad (18)$$

Equation (18) is then separated into two parts:

$$U_1 = e^{s\pi d}, \quad U_2 = -\frac{s^2 + \tilde{c}_y s + \tilde{k}_y}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \quad (19)$$

Letting $s = j\omega$ the roots of $E(s)$ will occur when $|U_2(j\omega)| = 1$ therefore:

$$1 = \frac{\left| \left(\tilde{k}_y - \omega^2 \right) + j \tilde{c}_y \omega \right|}{\left| \left(a_4 \omega^4 - a_2 \omega^2 + a_0 \right) + j \left(a_1 \omega - a_3 \omega^3 \right) \right|} \quad (20)$$

Eq.(20) is squared resulting in the following:

$$\left(\tilde{k}_y - \omega^2 \right)^2 + \tilde{c}_y^2 \omega^2 = \left(a_4 \omega^4 - a_2 \omega^2 + a_0 \right)^2 + \left(a_1 \omega - a_3 \omega^3 \right)^2 \quad (21)$$

Expanding this and collecting terms yields:

$$\begin{aligned} a_4^2 \omega^8 + \left(-2a_4 a_2 + a_2^2 \right) \omega^6 + \left(2a_4 a_0 + a_2^2 - 2a_3 a_1 - 1 \right) \omega^4 + \\ \left(-2a_2 a_0 + a_1^2 + 2\tilde{k}_y - \tilde{c}_y^2 \right) \omega^2 + a_0^2 - \tilde{k}_y^2 = 0 \end{aligned} \quad (22)$$

The roots of this equation can now be found. Since (20) was squared to produce (22), the number of found roots will be twice the number actually found in the system. As a result, only the positive real roots of the equation need to be examined. Each positive real root ω_i is substituted back into (19) to find $U_2(j\omega_i)$.

The angle of the resulting number is calculated as follows:

$$\alpha_i = \tan^{-1} \frac{\text{Im}(U_2(j\omega_i))}{\text{Re}(U_2(j\omega_i))} \quad (23)$$

The angle is then used to generate the values of the delay values, τ , where;

$$\tau_{ik} = (\alpha_i + 2k\pi) / \omega_i \quad k=0, 1, 2, \dots \quad (24)$$

One of these sequences is produced for each root. Sequences of all these roots are brought together and sorted in ascending order. This sequence represents intervals on the time delay axis. These delay values are computed at each positive real root and gives a large set for $(k = 1, 2, 3, \dots)$ The total set of delays are then brought together in an increasing order to form intervals of the τ axis.

3. STABILITY ANALYSIS OF ROTOR SYSTEM

Vibration due to mass imbalance is one of the important factors limiting the performance of a rotating system and the fatigue life. There are two important control methods for suppressing vibration caused by imbalance. These are active and passive control methods. Both methods are used to balance the rotating

system. Active vibration control is more effective and more flexible than passive vibration control. It is therefore more useful. There are also two types of active vibration control techniques. These are direct active vibration control techniques and active balancing techniques. Off-line balancing methods in active balancing techniques [3] are widely used in practice. Even so these techniques are usually time-consuming and cannot be used if the distribution of imbalance changes during operation. In some studies as in [4-7] was tried to use some kind of mass redistribution device to actively balance the rotating systems during operation. This method can be used to determine the vibration caused by the imbalance or the force transmitted to the base, lateral force actuators such as magnetic bearings [8-11]. All of the above-mentioned investigations focus on the constant rotation speed condition. This is called the “steady state”. Due to the assumption of constant speed of rotation, the rotor coefficient method is used to model the dynamic rotor system. All rotor dynamics equations are constructed with constant influence coefficients. Estimation of the imbalance, which is very important in the balancing and active vibration control schemes, is carried out by estimating the effect coefficients. An alternative method to estimate the rotating system imbalance is provided by Reinig and Desrochers [14] and Zhu et al. [15]. States of the rotor dynamic system are increased to include imbalance forces. Then, an observer is used to estimate the determined increased states in their methods. Their methods are also related to the constant spindle speed case. For this reason, the magnified system is a time-invariant linear system. Luenberger observer (Luenberger [16]) can be used to estimate the imbalance forces. In addition to the constant spindle speed (rpm), the imbalance vibration control must be completed for a time-varying transient time to save time and improve performance in some other situations. For example, a machining tool must be subjected to a cutting process in which the spindle enters a steady state during high-speed machining. To reduce the effect of the cutting tool vibration during the cutting cycle, the machine tool's vibration control must be active during acceleration time. Although several researchers as in (Knospe et al. [17]) have indicated how to conduct imbalance vibration control during the startup through the critical speed, their basic method is to interpolate the influence coefficients between different speeds. This is a quasi-steady strategy. Very little research has been done with rapid acceleration and low damping rate for balancing and active control of the rotor system. Zhou and Shi [18] obtained an analytical expression of the vibration that induced the imbalance of a rotor system during acceleration. In this analytical sense, if the acceleration is high and the damping is low, there may be a free vibration component that appears suddenly in the vibration triggered by the imbalance. Under these conditions, the semi-steady state assumption does not apply. In addition, Zhou and Shi [2] proposed a real-time active compensation scheme for the rapid acceleration case. Their scheme is based on the least squares estimation for imbalance [19].

The first reported research on chatter stability is done by Merritt [20], who presented a method of analyzing the stability as a function of cutting depth and speed, and presented the results by so-called a Stability Lobe Diagram (SLD). In drawing a SLD, three common methods are well-known. The first uses the Nyquist approach in which the stability is analyzed with respect to chosen cutting parameters, such as the cutting depth and the speed, and the critical values for each physical parameter are identified. The second approach is based on a Time Domain Simulation (TDS) which uses a closed loop dynamical cutting model and is performed for various cutting parameters [21]. The third approach of obtaining SLD is an analytic prediction technique, developed by Tobias and Fishwick [22]. In this technique SLD is plotted the boundary between stable and unstable cuts as a function of spindle speed and chip width. These diagrams provide a means of selecting favorable combinations of spindle speed and axial depth of cut in end milling, for example, for increased Material Removal Rates (MRR). Following this work, Fourier series expansion of time varying parameters of the centrifugal total force (F_T) has been implemented in solving the differential equations of the analytical model in an iterative manner. F_T is usually assumed linear with respect to imbalance mass of the rotating disk (m_b) and dynamic displacement of vibration ($h(t)$). The centrifugal total force (F_T) is also assumed independent of the spindle speed (ω_z). However, it is well-known that the centrifugal total force is highly nonlinear with respect to all rotating parameters. The work presented in this paper follows the footsteps of Tobias and Fishwick in simulating the cutting stability using an analytic approach [22]. The centrifugal total force (F_T) direction is assumed constant, and the rotating disk is modeled by a rigid mass and linear stiffness and damper elements. The force is determined by the x direction motion as given in Eq.(4). Stability of the system is analyzed using the Nyquist criterion in performing analytic simulations.

$$h(t) = OG(t) = e + r_d - x(t) + x(t - \tau)$$

Using equation (12), the closed loop transfer function is obtained as;

$$\frac{X}{e} = \frac{m_b C G(s)}{1 + m_b C G(s)(1 - e^{-s\tau})} \quad (25)$$

The system is modeled as a closed loop controller, as shown in Figure 4,

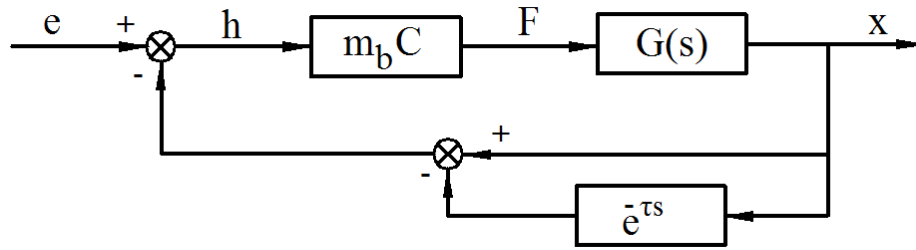


Figure 4. Block diagram of regenerative cutting process

where $G(s)$ is the open loop transfer function obtained between the centrifugal total force (F_T) and the displacement in the $x(t)$ direction. The denominator of the closed loop transfer function is given by equation (18), and the system stability based on Nyquist criterion is determined using;

$$m_b C G(s)(1 - e^{-Ts}) = (-1, 0j) \quad (26)$$

the location of the left side of Eq.(26) is studied with respect to the point $(-1, 0j)$. This is done by first setting $s=j\omega$,

$$m_b C G(\omega)(1 - e^{-j\omega\tau}) = -1 \quad (27)$$

Next, this equation is studied in two-parts as given in Eq.(18). The left side of Eq.(18) has unit magnitude and phase of ω for all positive real frequency values, and it gives a unit circle or a critical trajectory. The right side of Eq.(18) presents a Nyquist curve, and its intersection with the unit circle determines $U_2(j\omega)$. Eq.(20) defines these frequency values. Regenerative chatter occurs at a frequency equal to the closest mode of the rotating shaft/disk system natural frequencies, and it generates a relative motion between the shaft rotating center and the disk rotating center. Thus, there is always a phase difference between two consecutive vibration wave forms, and it is given by

$$k + \frac{\varepsilon}{2\pi} = \frac{\omega_s}{n} \quad (28)$$

where k is the number of waves in one period, ε phase difference [rad], ω_s rotating shaft/disk system frequency [1/s]; n is spindle speed [rev/s]. This equation corresponds to Eq.(24), where

$$\tau = \frac{2k\pi + \varepsilon}{2\pi\omega_s} \quad \rightarrow \quad n = \frac{60}{\tau} \quad (29)$$

$U_1(j\omega)$ and $U_2(j\omega)$ defined in Eq.(18) are simulated in Fig. 5, where for values between larger and smaller than the obtained positive real values of ω_i , U_2 curve is simulated to show if it enters into or

exits the stability region, or the unit circle. Since two roots exist, one is shown to enter while the other exits. At each delay value τ given in Eq.(20), two positive real roots exist and at these values the unit circle is intersected. The SLD is obtained by determining the imbalance mass of the rotating disk m_b for a given range of spindle speed. The limit values of imbalance mass of the rotating disk is obtained from Eq.(26) with the help of Eq.(28) as

$$m_{b\text{lim}} = \frac{-1}{CG(1 - e^{-j\varepsilon})} \tag{30}$$

or, by considering only the real values,

$$m_{b\text{lim}} = \frac{1}{2C \operatorname{Re}(G(j\omega))} \tag{31}$$

The SLD obtained for the two degree of freedom model in Fig. 1 is given in Fig. 6. A Matlab program was written, in generating both Fig. 5 and Fig. 6.

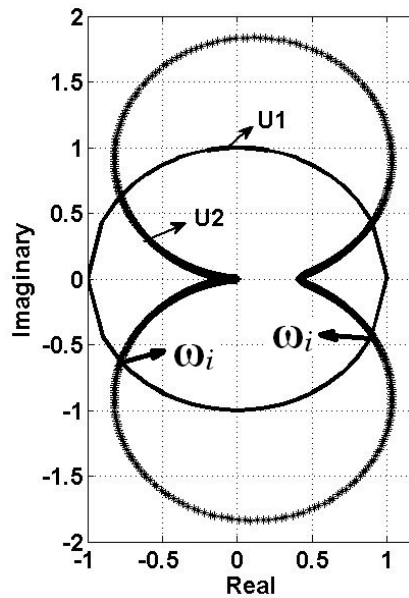


Figure 5. Unit circle and Nyquist curve

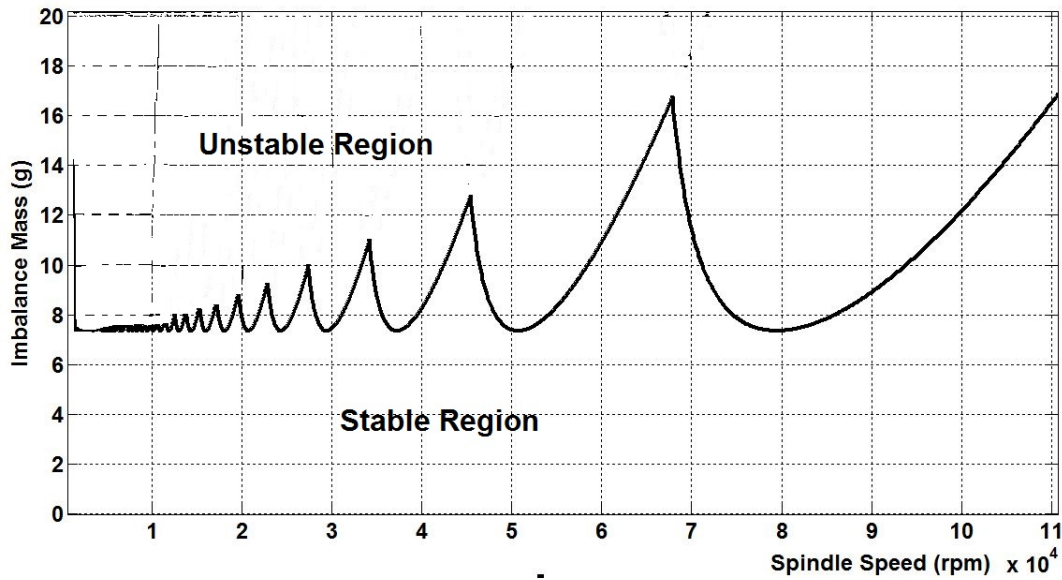


Figure 6. Stability Lobe diagram for dynamic system.

Stability of this system was investigated by applying τ decomposition form to Nyquist criteria. The centrifugal total force, which changes in the course of time, proportionally with the dynamic reaction forces occurred from the external perpetual forces on the rotating system, is a general acceptance of linear modeling. For this reason, the constant component of the centrifugal total force F_t is neglected but variable component F_r produced by dynamic load is taken into account. According to the Nyquist criteria, the right side of this equation expresses Nyquist plane curve U_2 and the left side expresses critical orbit U_1 . Thus, the positive real root of this equation gives the chatter frequency of the system as seen in Fig. 5. The above mentioned analytical method is the determination of the natural frequency of the system and mode shapes by measuring transfer functions by using an impact hammer and accelerometer. Analytical predictions of performance can be done by using this information. This analysis technique is based on the investigation of stability and plotting the SLD from the solution of the characteristic equation of the system depending on the critical parameters such as axial imbalance mass of the system and spindle speed as seen in Fig. 6. This analysis is made with the acceptance that the force process is linear according to external perpetual force and imbalance mass which doesn't depend clearly on rotating speed.

4. CONCLUSIONS

Although the model used is very simplistic and does not account for the most of the system parameters, it helps the reader get a fundamental understanding of the rotating system dynamics and stability issues. A two degree of freedom model of rotating system is developed, and the vibration phenomenon is analyzed to show how it can be prevented. The simulated results determine the critical imbalance mass of the rotating disk values as a function of the spindle speed. The results show that larger imbalance masses free of chatter can, in general, be accomplished at large speeds. However, the stability switches are unavoidable no matter how large the speed is. Large stable gaps occur at high spindle speeds, where the rotational frequency of the rotating disk is equal to the dominant natural frequency of the rotating shaft/disk structure. This stability analysis approach can be easily applied between spindle length, balancing mass amount, location of balancing mass on rotor etc. variable parameters and spindle speeds for stable rotating system. Hence, system sizing will be achieved by considering elastic modulus (E) and Yield strength (σ) of the system spindle for more stable rotating system.

REFERENCES

- [1] Zhou, S., and Shi, J., Active Balancing and Vibration Control of Rotating Machinery: A Survey, The Shock and Vibration Digest, July 2001, Vol. 33, No. 4, 361-371.
- [2] Zhou, S., and Shi, J., Supervisory adaptive balancing of rigid rotors during acceleration, Transactions of NAMRI/SME XXVII, 2000, 425- 430.
- [3] Wowk, V., 1995, Machinery Vibration: Balancing, McGraw-Hill, New York.
- [4] Gosiewski, Z., Automatic balancing of flexible rotors, part 1: theoretical background, Journal of Sound and Vibration, 1985, 100, 551-567.
- [5] Gosiewski, Z., Automatic balancing of flexible rotors, part 2: synthesis of system, Journal of Sound and Vibration, 1987, 114, 103-119.
- [6] Van De Vegte, J. and Lake, R. T., Balancing of rotating systems during operation, Journal of Sound and Vibration, 1978, 57, 225-235.
- [7] Van De Vegte, J., Balancing of flexible rotors during operation, Journal of Mechanical Engineering Science, 1981, 23, 257-261.
- [8] Knospe, C. R., Hope, R. W., Fedigan, S. J. and Williams, R. D., Experiments in the control of imbalance response using magnetic bearings, Mechanics, 1995, 5, 385-400.
- [9] Knospe, C. R., Hope, R. W., Tamer, S.M. and Fedigan, S. J., Robustness of adaptive imbalance

control of rotors with magnetic bearings, *Journal of Vibration and Control*, 1996, 2, 33-52.

[10] Herzog, R., Buhler, P., Gahler, C. and Larssonneur, R., Imbalance compensation using generalized notch filters in the multivariable feedback of magnetic bearings, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 1996, 4, 580-586.

[11] Lum, K. Y., Coppola, V. T. and Bernstein, D. S., Adaptive autocentering control for an active magnetic bearing supporting a rotor with unknown mass imbalance, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 1996, 4, 587-597.

[12] Li, C.-J., Ulsoy, A.G. and Endres, W.J., The effect of flexible-tool rotation on regenerative instability in machining, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 2003, 125, 39-47.

[13] Turkes, E., Orak, S., Neseli, S., Yaldiz, S., Linear analysis of chatter vibration and stability for orthogonal cutting in turning, *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 2011, 29, 163–169.

[14] Reinig, K. D., and Desrochers, A. A., Disturbance Accommodating Controllers for Rotating Mechanical Systems, *ASME J. Dyn. Syst., Meas., Control*, 1986, 108, Mar., 24–31.

[15] Zhu, W., Castelazo, I., and Nelson, H. D., An Active Optimal Control Strategy of Rotor Vibrations Using External Forces, *ASME Design Technical Conference-12th Biennial Conference on Mechanical Vibration and Noise Montreal*, 1989, Que, Can 19890917-19890921.

[16] Luenberger, D. G., Observers for multivariable systems, *IEEE Trans. Autom. Control*, 1966, AC-11, Apr., 190–197.

[17] Knospe, C. R., Tamer, S. M., and Fittro, R., Rotor Synchronous Response Control: Approaches for Addressing Speed Dependence, *J. Vib. Control*, 1997, 3, No. 4, 435–458.

[18] Zhou, S., and Shi, J., The analytical unbalance response of jeffcott rotor during acceleration, *ASME J. Manuf. Sci. Eng.*, 2001, 123, No. 2, 99–302.

[19] Zhou, S., and Shi, J., Imbalance estimation for speed-varying rigid rotors using time-varying observer, *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 2001, 123, 637-644.

[20] Merritt, H. E., Theory of self-excited machine-tool chatter, *ASME J. Eng. Ind.*, 1965, 87, 447–454.

[21] Landers, R.G., Ulsoy, A.G., Chatter analysis of machining systems with nonlinear force processes, *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, 1996, Atlanta, Georgia, November 17-22, DSC Vol. 58, 183-190.

[22] Tobias, S., Fishwick, W., Theory of regenerative machine tool chatter, *The Engineer*, February, (1958).

APPLICATIONS OF PLASMA TECHNOLOGY IN ENERGY SECTOR

Özge YAZICIOĞLU^{*1}, T. Yaşar KATIRCIOĞLU²

ARTECS Anadolu R&D Technology Engineering and Consultancy Inc.

¹oyazicioglu@ar-tecs.com, ²tykatircioglu@ar-tecs.com

Abstract

Today, the use of plasma technology in production of energy from waste, biomass and coal has become quite widespread in the world due to the unique and outstanding features of plasma. Experimental and theoretical studies have shown that plasma based system in energy production is a promising alternative to classical system in terms of efficiency, environmental and economic aspects. Plasma assisted combustion, gasification and pyrolysis are different methods used in energy production. Considering the plasma technology applications in energy sector, it is widely used in developed countries like Europe and USA for the energy production from the waste and biomass, but plasma is generally preferred in eastern countries like China, Kazakhstan and Russia for plasma coal gasification and plasma assisted coal burning at thermal plant. Different plasma torch systems (AC, DC and RF) used in these applications are seen in the literature. This paper gives an overview on plasma technologies in energy production from different energy sources (waste, biomass, coal) by different techniques such as combustion, gasification and pyrolysis. In comparison of AC, DC and RF plasma torches in the scientific literature, it has been considered that AC plasma torch is a prominent technology due to some advantages especially in high power as megawatt levels. Lastly, economic assessment is presented and estimated budget for system installation is given for different systems. Although the technology readiness level of the plasma technologies has a level of maturity (over 6) in our facilities at AR&TeCS (ARTECS Inc., Ankara University Technopolis, Gölbaşı, Ankara), the application on the different type of waste management or plasma assisted coal burning/gasification needs some additional R&D activities especially in simulation and modelling for obtaining optimum conditions, process development and controlling of gasification/combustion process. Finally, some technical experience from the high-power alternating current (AC) plasma system established at AR&TeCS is shared.

Key Words: Plasmatron, High power, Alternative Current, AC, Coal, Biomass, Waste, Gasification

^{*1} Özge Yazıcıoğlu, oyazicioglu@ar-tecs.com

PLAZMA TEKNOLOJİSİNİN ENERJİ SEKTÖRÜNDEKİ UYGULAMALARI

Özet

Günümüzde, plazmanın benzersiz ve olağanüstü özelliklerinden dolayı atık, biyokütle ve kömürden enerji üretiminde plazma teknolojisinin kullanımı dünyada oldukça yaygınlaşmıştır. Deneysel ve teorik çalışmalar, plazma bazlı sistemin enerji üretiminde klasik sisteme verimlilik, çevresel ve ekonomik açıdan umut verici bir alternatif olduğunu göstermiştir. Plazma destekli yanma, gazlaştırma ve piroliz, enerji üretiminde kullanılan farklı yöntemlerdir. Enerji sektöründeki plazma teknolojisi uygulamaları göz önüne alındığında, atık ve biyokütleden enerji üretimi Avrupa ve ABD gibi gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır ancak plazma kömür gazlaştırma ve plazma kömür yakma genellikle Çin, Kazakistan ve Rusya gibi doğu ülkelerinde tercih edilmektedir. Bu uygulamalarda kullanılan farklı plazma sistemleri (AC, DC ve RF) literatürde görülmektedir. Bu makale yakma, gazlaştırma ve piroliz gibi farklı tekniklerle farklı enerji kaynaklarından (atık, biyokütle, kömür) enerji üretiminde plazma teknolojileri hakkında genel bir değerlendirme vermektedir. AC, DC ve RF plazmatronlar bilimsel literatürde karşılaştırıldığında; AC plazmatronun özellikle megawatt seviyelerindeki yüksek güçlerde bazı avantajlardan dolayı önemli bir teknoloji olduğu düşünülmektedir. Son bölümde, ekonomik değerlendirme ve sistem kurulumu için tahmini bütçe farklı sistemler için verilmektedir. AR&TeCS'de (ARTECS A.Ş., Ankara Üniversitesi Teknokent, Gölbaşı, Ankara) kurulu laboratuvarlarda, plazma teknolojilerinin teknoloji hazır olma seviyesi olgunlaşmış (6 üzerinde) olmasına rağmen, farklı atık yönetimi tipi veya plazma kömür yakma/gazlaştırma uygulamaları, özellikle optimum koşulları elde etmek, süreç geliştirme ve gazlaştırma/yanma sürecinin kontrolü için simülasyon ve modellemede bazı ilave Ar-Ge faaliyetlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Son olarak, tesislerimizde kurulu olan yüksek güçlü alternatif akım plazma sisteminden elde edilen bazı teknik deneyimler paylaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Plazmatron, Yüksek güç, Alternatif Akım, AC, Kömür, Biyokütle, Atık, Gazlaştırma

1. INTRODUCTION

Recently, the applications of plasma technology are becoming widespread due to its interesting and superior properties. Although the usage of electric fields to plasma has been started in 1814, plasma combustion was applied in the 1920's and further applications was implemented in the last half of the 20th Century [1].

Plasma is an ionized gas, consisting of a mixture of electrons, ions and neutral particles and described as a fourth state of matter. A plasma can be defined as “quasi-neutral” which means that it is neutral enough that electron density nearly equals ion density, but not so neutral that all interesting electromagnetic forces vanish [2]. Plasmas can be classified as thermal and non-thermal plasmas according to ionization levels and temperature differences between heavy particles and electrons [3, 4]. Thermal plasma has many advantages in terms of high energy density, high temperature and high enthalpy. So, it has been used in variety areas such as metallurgy, cutting, welding, etching, scientific research and more efficient production of energy from different types of wastes, biomass and especially low quality coal via plasma assisted combustion, plasma gasification and pyrolysis [3, 5].

With increasing population and industrialization, all types of wastes including hazardous, industrial, medical and municipal solid waste have increased in worldwide and efficient waste management has become an important issue. In addition, waste has been considered as an important renewable energy source and different methods have been applied in waste treatment which are combustion/incineration, gasification and pyrolysis. Combustion is an exothermic process that takes place in an oxidizing environment converting hydro carbonaceous materials into product gases. The role of plasma in combustion can be by means of different ways including thermal, chemical and transport phenomena. On the thermal side, due to the high temperature of plasma, the chemical reactions are accelerated. Chemically, plasma can play a major role to increase the yield in the chain of combustion and oxidation mechanics due to the reactive radicals and species such as O, OH and H contained in it. Also, plasma can attend in completely breaking of big fuel molecules indirectly [6]. Similarly, plasma in gasification breaks down waste into simple gaseous molecules such as carbon monoxide and hydrogen. But, gasification process is performed in an oxygen starved environment to avoid the combustion of carbon to CO₂ [7]. On the

other hand, pyrolysis process takes place with no oxygen unless partial combustion is needed to provide the thermal energy needed for this process [8].

Recently, many research and development activities have been focused on conversion of waste into energy and processes that minimize emissions and integrate the life-cycle assessment of technologies and materials [9]. Plasma technology is considered as a highly attractive method for the processing of all waste types including hazardous wastes with its high temperature, enthalpy and the residence time [10].

On the other hand, coal is still considered as one of the main energy resources of 21st century. But decreasing of quality and power of coals such as Turkey's big lignite source has led to the difficulties in ignition and incineration of it and increased the emissions of hazardous air pollutions. In order to improve the efficiency of coal combustion, plasma technology has been started to be used in thermal-power plants in some countries [5]. Plasma-assisted pulverized coal combustion technology has been tested successfully on 27 pulverized coal boilers in 16 TPP (Thermal power plant) located in Russia, Kazakhstan, Korea, Ukraine, Slovakia, Mongolia and China. These tests clearly show the advantages of PFS system which are quick start-up, the ease of safe flame stabilization, high efficiency and decreased hazardous emissions [11].

Gasification of coal is also considered as one of the most important and effective ways for converting coal into high energetic gases, called as "syngas" and then to useful chemicals, or to electricity through the processes of syngas [12]. The use of plasma technologies in coal gasification provides an efficient and environmentally friendly way for power generation compared to the classical methods [13].

In Turkey, recent studies show that lignite reserves have reached to 15.9 billion tons [14]. Due to the energy dependency, Turkey has very strong desire to develop new technology and process to use its lignite reserves efficiently. But, because of their mostly low quality and high moisture content, coals cannot be effectively burned using classical systems [15]. The temperature level of classical incineration using fuel oil is about 1100 K [16]. High temperature, over 2000 K and chemically active species generated by plasma torches is very effective in a complete coal combustion [17, 18].

In addition to the huge lignite reserve, approximately 25.800.000 tons of wastes are generated in one year in Turkey. With increasing population, Turkey aims to maximize the economic

opportunities in waste management while minimizing negative environmental effect focusing on new, clean and effective technologies in energy production from waste [19]. At that point plasma is one of the most important technologies to be applied.

Plasma technology has many advantages compared to auto thermal processes in waste treatment. Firstly, plasma reaches high temperature comparing to classical systems and plasma contains high concentration of energy in a small volume of it and high rate of the chemical reactions [20]. The high-energy density and temperature of thermal plasma offer high efficiency even in a small reactor [21]. Plasma technology requires compact equipment with small size and the control of operating regime is achieved simply and automatically allowing short startup and shutdown times [20, 21, 22]. In plasma technology, enthalpy control is easily established by adjusting the electrical power which is not possible in conventional systems [10].

In addition, plasma technology is an environmentally friendly technology reducing the hazardous emissions like tar, CO₂, CH₄ and higher hydrocarbons, NO_x and SO_x [23]. Thus, plasma technology has been a favorable alternative to other conventional combustion and gasification technologies.

2. PLASMA APPLICATIONS IN ENERGY PRODUCTION FROM WASTE

World Bank has declared that currently about 4 billion tons of all types of waste (1.5 billion tons of solid waste) are produced throughout the world per year and it is expected to reach to 2.4 billion tons until 2025 [24]. The simple waste treatment method currently in use is landfilling. Since landfilling method has become increasingly expensive and difficult to comply with new environmental regulations, waste to energy facilities have been become widespread [22]. Also, landfills with methane emissions were recently defined as a main reason of global warming [18]. In Europe, landfill is considered as a missed chance and it is planned to landfill less waste, produce more energy from waste [25, 26, 27]. Figure 1 shows the methods used for MSW management in the EU in 2003. In Netherland and Denmark, almost no MSW to landfill is disposed, and in Belgium, Sweden, Germany and Luxembourg all landfill is less than a quarter of their MSW [27].

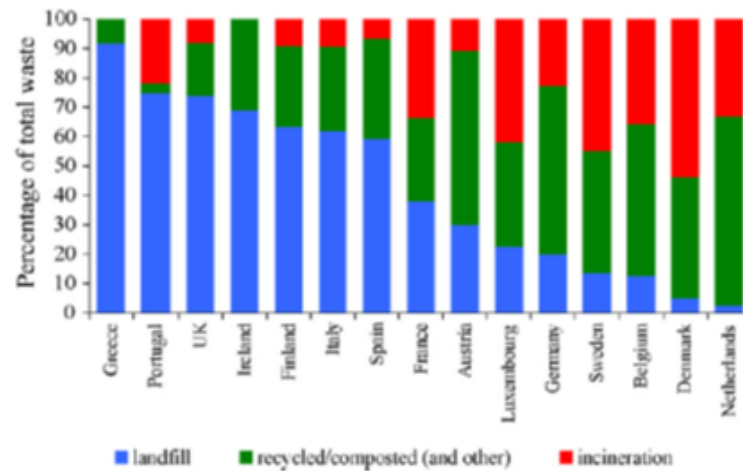


Figure 1. Municipal waste management in the European Union in 2003 [27].

As mentioned above, the amount of collected municipal waste in Turkey is about 25.800.000 tons per year and 29% of MSW is disposed via dumpsite and 71% of it is placed in landfill and used in compost facilities to produce energy. The total power capacity of licensed facilities that generates energy from the landfill gas is approximately 95 MWe. There are three biomethanization facilities (Ankara, Adana and Pamukova/Sakarya) with ~147 MWe power capacity that produced energy from biomass. Turkey population growth rate is 13% between 2004-2013 and population of Turkey has reached to about 78.741.000 million at the end of 2015 [19]. Parallel to the increase in the population, the waste amounts increased as expected. The industrialization has created main source of hazardous waste, and the amount of hazardous waste was reportedly reached to about 1.423.000 tons in 2015 [28]. In order to eliminate hazardous waste by producing energy, new investments are planning to increase production of energy from waste with an efficient and clean technology [19].

In all over the world, it is very essential that energy is produced from waste effectively through the most efficient and clean technologies including anaerobic digestion, mechanical and biological treatment processes (MBT), direct combustion or incineration and advanced thermal treatment (ATT) processes as gasification and pyrolysis [27]. The following figure shows that the landfilling is decreasing in the EU-27 countries in time and the use of other methods is increasing in waste treatment.

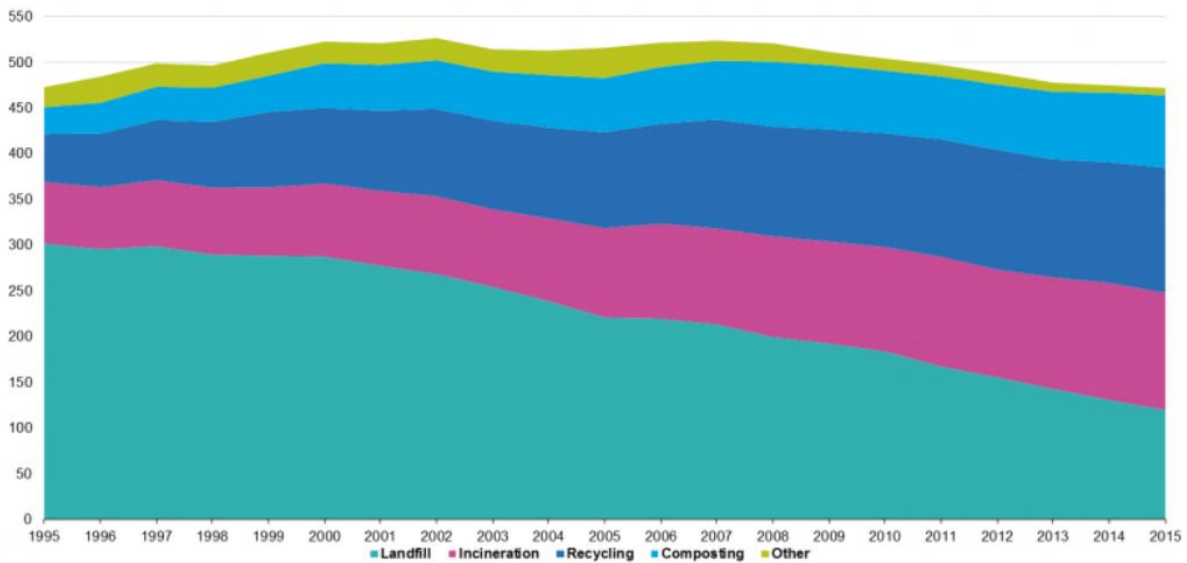


Figure 2. MW treatment by type of treatment, EU-27, (kg per capita), 1995–2015 [29]

Waste management is a major issue in many countries because of increasing amount of MSW and industrial waste. For example, in Japan, due to increasing difficulty to get suitable sites for landfill, combustion has become an important method for waste treatment. However, because a considerable amount of hazardous reaction products such as dioxin, heavy metals come out in conventional combustion and incineration processes, more appropriate treatment method have been searched for the sake of safe environment. So, in Japan, plasma treatment which destroy toxicity has been started to study and to apply in these processes [30]. In Utashinai, there is the only commercial plasma arc facility that treats MSW worked by Hitachi metals and Alter NRG. Now, there are 87 operational WTE plasma power plants with 2500 MW or about 0.3% of total national power [22].

The development of plasma gasification process for waste disposal began in the USA, Europe and Japan in the 1980s. Now, more than 150 industrial gasifiers which are mainly used process biomass and coal were built throughout the world [22]. Table 1 shows some of thermal plasma plants in the EU, the USA and Asia.

Table 1. Thermal plasma plants in the EU, the USA and Asia [21, 10, 31]

Location	Material	Capacity (TPD)	Date
Europe			
Landskrona, Sweden	Fly ash	200	1983
Bordeaux, France	Ash from MSW	10	1998
Morcenx, France	Asbestos	22	2001
Morcenx, France	-	137	2012
Kedzierzyn-kozel, Poland	ISW	10	2001
Bergen, Norway	Tannery waste	15	2001
Kozloduy, Bulgaria	LLRW	5	2010
Hirwaun, UK	MSW/Industrial	~750	2015
Moscow, Russia	LLRW	6.0-9.5	2002
America			
Anniston, Alabama	Catalytic converters	24	1985
Jonquiere, Canada	Aluminum dross	50	1991
Honolulu, Hawaii	Medical waste	1	2001
Richland, Washington	Hazardous waste	4	2002
Alpoca, West Virginia	Ammunition	613	2003
USA Navy	Shipboard wastes	7	2004
USA Army	Chemical agents	10	2004
Hawthorne, Nevada	Munitions	10	2006
Ottawa, Canada	MSW	85	2007
Los Angeles, USA	Biomass, Const. waste	18	2009
Hurlburt Field, USA	MSW/Hazardous	10.5	2011
Asia			
Kinura, Japan	MSW Ash	50	1995
Yoshi, Japan	MSW	151	1999
Mihama-Mikata, Japan	MSW/Sewage sludge	28	2002
Utashinai, Japan	MSW/ASR	300	2002
Shimonoseki, Japan	MSW Ash	41	2002
Kakogawa, Japan	MSW Ash	31	2003
Imizu, Japan	MSW Ash	12	2002
Maizuru, Japan	MSW Ash	6	2003
Lizuka, Japan	Industrial waste	10	2004
Taipei, Taiwan	Medical and battery waste	4	2005
Osaka, Japan	PCBs (Poly chlorinated Biphenyl)	4	2006
Cheongsong, Korea	MSW	10	2008
Pune, India	Hazardous waste	68	2009
Nagpur, India	Hazardous waste	68	2010

2.1. Comparison of Classical Incineration and Thermal Plasma Gasification

When we compare classical incineration and thermal plasma gasification, incinerations have large quantity of excess air, but thermal plasma gasifiers add a limited quantity of O_2 . Incinerations are designed to maximize CO_2 and H_2O , but gasifiers are designed to maximize CO and H_2 . Because of oxidizing environment inside the incineration furnace, NO_x and SO_x are generated in incineration process, but due to the reducing environment, NO_x and SO_x generation are prevented. Temperatures in processes are also different in both processes. Although, temperature of incineration furnace is around $800\text{ }^\circ\text{C}$ which is below an ash melting point causing inorganic materials in MSW turn into fly ash, temperature of gasification processes can be adjusted above $1500\text{ }^\circ\text{C}$ which is above an ash melting point that provides inorganic materials in MSW to transform to vitrified slag which can be used as a source of building materials [3]. Also, pyrolysis is more advantageous than incineration in terms of some reasons. Combustion of syngas resulting from gasification or pyrolysis with almost no ashes left is much more ecologically highly beneficial in comparison with methane due to incineration. Throughout pyrolysis and gasification, less toxic compounds such as dioxins, furans, carbon monoxide and ashes are generated [18].

2.2. Plasma Waste Gasification System

An example of concept of the plasma gasification schematic under consideration by AR&TeCS is given in Figure 3. In a plasma gasification system, all types of waste, fossil fuels and biomass can be used as feedstocks. Plasma torch is used as an energy source with high enthalpy, residence time and high temperature. In gasification process, plasma gasification environment is an oxygen starved. Output gas is supposed to be cleaned to form pure syngas and it can be used for renewable energy production like natural gas or as precursor for many chemicals through some conversion processes [16].

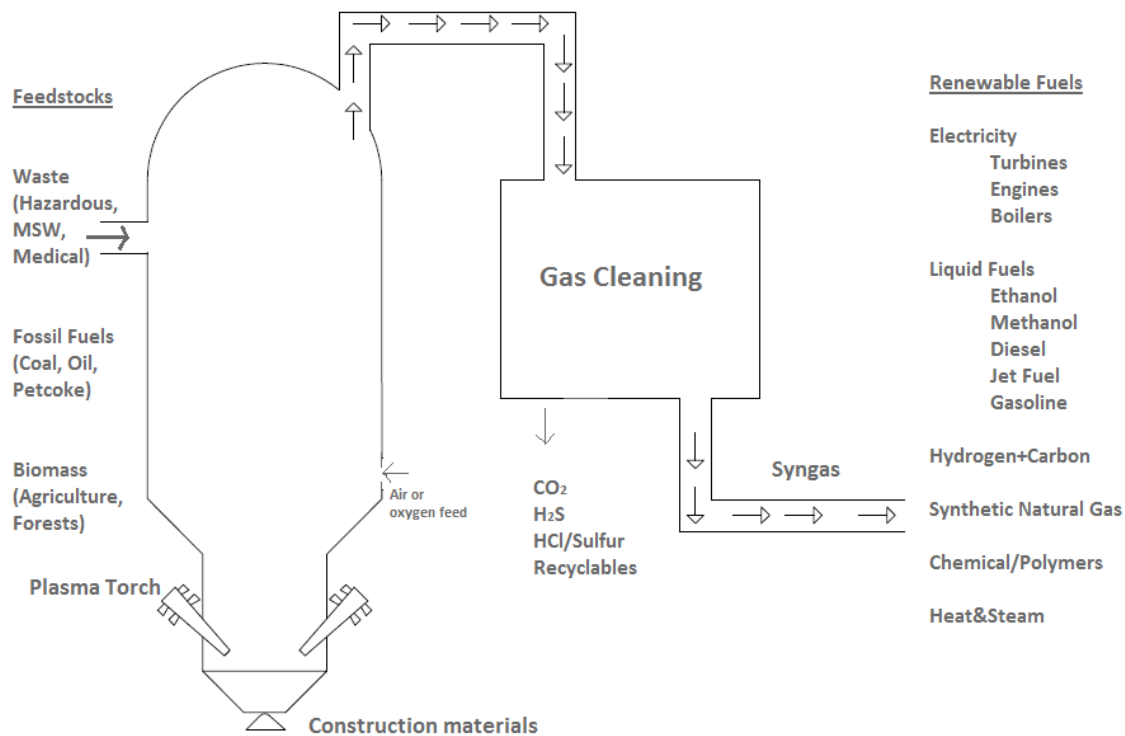


Figure 3. Schematic of plasma gasification system

Syngas can be used as the raw material by low Btu reciprocating engine generators, gas turbines and boilers to produce fuel. Also, it can supply essentials to form methanol, ethanol, butanol, gasoline, diesel, plastic and many other carbon based products that are generated from crude oil [10, 32, 33, 34, 35].

Another advantage of syngas is that CO and H₂ in its content can be used as feedstock for the output of synthetic liquid fuels in operation. Hydrocarbon conversion operating syngas for the hydrogen yield is to be used for hydrogen production in fuel cell engines. An experimental study shows that hydrogen conversion of syngas in waste treatment is higher than that of classical incineration. That can be used for hydrogen production in fuel cell [18].

Moreover, plasma waste treatment compared to classical incineration is more efficient in terms of electricity generation. Using a boiler with steam turbine, net electrical efficiencies are achieved from 18% to 22% [27]. Whereas, syngas produced by plasma gasification process can recover up to 80% of the chemical energy included in the organic substance initially processed and so a plasma gasification system with a gas turbine combined cycle power plant can aim up to 46.2% efficiency [36].

3. PLASMA APPLICATIONS IN ENERGY PRODUCTION FROM COAL

Coal is still considered as one of the main energy resources of the 21st century [5]. According to the World Energy Council, there are coal reserves in around 80 countries. Some of the coal rich countries are the USA with the largest amount of coal reserves as 237.3 billion tons, Russia Federation with 157 billion tons, China with 114.5 billion tons and Australia with 76,4 billion tons. Turkey is considered as a medium level in terms of reserve of lignite with about 15 billion tons [15]. The fraction of coal-fired thermal power plants in electrical power generating is about 60% in the USA and Germany [36] and is about 85% in the Kazakhstan [5], 87% in China and 47% in Turkey [37, 38].

However, because of the decreasing quality of coal, the difficulties of its ignition and environmental problems have been arisen. To increase the efficiency of coal combustion and solve the environmental pollution problems, new plasma fuel-system for the thermal power plant for low quality coal is developed [5]. Plasma technology providing thermal plasma with its high temperature and high number of active species, improves the efficiency of combustion of coals while reducing the need of additional fuel oil and/or natural gas in the fuel balance of thermal power stations and harmful gas emissions. Plasma-fuel systems (PFS) have been constructed and tested in different countries as Russia, Kazakhstan, Ukraine, China, Korea, Slovakia, and Mongolia in 29 boilers with steam outputs ranging from 75 to 670 t/h. [37]. There are three generations of plasma ignition systems which were designed and tested. First generation plasma igniters which had a plasma torch with a moving graphite-rod cathode and a water-cooled annular copper anode were mounted on the Ch-200 boiler at the Baoji TPP. First-generation plasma igniters have been retrofitted and spread in China to have more boilers with an installed capacity above 160x106 kW by the Yantai Longyuan Electric Power Technology Company (China). Second-generation plasma igniters with plasma torches having replaceable water cooled copper cathode and anode were tested at the Shaoguan TPP (China) in 2000-2001 and third-generation ones with the oscillation-free startup of plasma torches were tested at the Shenyang power station golden mountain in 2007 [38]. These three generations of PFS developed and tested at thermal power system (TPS) in different counties are summarized in Table 2 [37].

Table 2. Commercial tests of PFS at TPS [37]

TPS (Location)	Test Years	Quantity of boilers with PFS, pcs.	Steam capacity of one boiler, t/h.	Quantity of PFSs at the TPS, pcs.
Russian Federation				
Gusinozerssk, Suvorov, Neryungri, Partizansk Khabarovsk	1994-1998	1-2	170-670	2-8
Ukraine				
Mironovka Kurakhovo	1989 1998-1999	1	230-670	2-4
Kazakhstan				
Alma-Ata Ust-Kamenogorsk	1996 1989	1-2	75-160	4-2
Mongolia				
Erdenet Ulan-Bator	1994 1995	1-8	75-420	1-16
China				
Baodi Shaoyang	1995 1999-2001	1	75-230	1-4
North Korea				
Pyongyang	1993	1	210	3
Slovakia				
Velky Kapushany	2000	1	350	2

4. DIFFERENT PLASMA TECHNOLOGIES

Different plasma torches types such as DC, AC, and RF can be used in plasma applications in the energy sector. Mainly, four companies which are Westinghouse, Europlasma, Tetronics and Phoenix Solutions Company (PSC) dominate the current market for high power plasma torches. Generally, DC plasma torches are developed by these companies. Westinghouse, Euro plasma and PSC developed transferred and non-transferred DC torches with water cooled metal electrodes. Differently, Tetronics developed a transferred DC torch with two graphite electrodes which are not water cooled [10]. Also, other different plasma torch technologies have been developed in some research laboratories such as Applied Plasma Technologies (USA), PERSEE-MINES Paristech (France) (MINES ParisTech), Institute for Electrophysics and Electric Power (Russian academy of sciences), Keldysh Research Center [39, 40], Von Karman Institute (ICP plasma torch) [41] and in

ARTECS facility (Turkey) collaboratively with Keldysh Research Center [42].

4.1. DC Plasma Torches

DC plasma arc generally consists of three parts, the cathode region, the anode region and the arc column. The plasma is generated between two electrodes and the resistance of the plasma is used to convert electricity into heat energy [3]. This technology is not new. Westinghouse established in 1970's began producing plasma torches for National Aeronautics and Space Administration (NASA) to be used in simulation of entry conditions in the atmosphere within the scope of space program "Apollo" [10].

There are two kinds of plasma arc which are transferred and non-transferred DC plasma torches. [3, 43]. In the transferred plasma arc, firstly the small plasma arc is ignited between the electrode and the nozzle and then it is transferred to the work piece to be a big arc by the plasma jet and one of the plasma forming electrodes is included within any single torch body. On the other hand, after the non-transferred plasma arc is ignited between the electrode and nozzle, continuous working gas and the high temperature plasma jet is occurred [44, 45]. Plasma arc is created outside the water-cooled body of the torch so transferred arc torches can generate extremely high thermal fluxes and radiant heat transfer losses to the cold torch body are reduced. Thus, the transferred arc plasma torch is inherently more efficient than the non-transferred arc torches [44].

Non-transferred DC plasma torches are separated into two groups which are hot (thermionic) cathode torches and cold cathode ones which is not electrically heated. Typically, hot (thermionic) cathode DC torch with a water-cooled ring anode is used for thermal spray coating applications. Thoriated tungsten is normally used as the cathode material. Generally, cold cathode is preferred in plasma gasification and chemical processes [45]. Europlasma plasma torches are mainly based on cold cathode DC torches [10]. Mostly, copper and copper alloy are used for cold cathodes worked with arc current limited to 1200-1500 A and copper erosion exists too much. Also, different supplies such as low carbon steel, titanium, stainless steel and copper-nickel alloys and tungsten have been used as cathode materials [46].

Lifetime of electrodes is important for these plasma torch processes and the cathode erosion rate is the limiting factor. Found that both the arc rotation and type of gas mixture has a significant effect on erosion rate. For example, if the arc rotation speed is increased from around 5-80 m/s, the

cathode erosion rate of an argon-nitrogen arc operated at 100 A is reduced by one order of magnitude. Also, it is shown that the addition of only 1% nitrogen to argon strikingly decreased the erosion rate [47, 48]. Different studies are being carried out to increase the electrode lifetime. In general, revealed that cathode material, plasma forming gas composition, efficiency of the gas vortex, magnetic field configuration and arc current affects the erosion rate of cold cathodes [46]. The plasma plume of DC plasma torches has generally high velocity (several hundred ms^{-1}) and high temperatures (10000-20000 K). DC plasma torches are exposed to severe thermal, mechanical and even chemical effects so that they have a critical drawback which is inevitable electrode erosion which limits the electrode lifetime. Also, DC plasma torches need delicate and costly power supply electronics for AC-DC current rectification which is another disadvantage of them [39].

4.2. RF Plasma Torches

The first demonstration of the continuous working of inductively coupled radio frequency discharged RF torches was realized in 1961 at Lincoln Laboratory, Massachusetts Institute of Technology [49]. RF plasma torches have no electrodes so the plasma is not polluted by the metallic vapors [44]. RF discharges is excited and sustained by high-frequency electromagnetic fields. Power coupling in RF discharges is performed in different ways which are capacitively and inductively coupled discharges. High frequency RF electric fields (typically 13.56 MHz) creates capacitively coupled plasma (CCP). RF system comprises of a generator and the reactor with electrodes. Inductively coupled plasma (ICP) is similar with CC. But the electrode has a coil which generates electromagnetic field inductively exciting the plasma.

RF inductively coupled plasma torches commonly available at power levels of 100 kW and mainly applied in the field of spectro-chemical analysis, synthesis of high purity silicon or titanium dioxide pigments, and ultra-fine and ultra-pure powder synthesis [44]. There is an example of large scale (1.2 MW) inductively coupled plasma (ICP) which are constructed at Von Karman Institute by funded European Space Agency (ESA) to be used in re-entry tests [41].

In the sense of RF plasma technology, another study shows that the scale up of it to the hundreds of kW level, closer to the 500 kW or 1MW and developing the novel powder injecting techniques in forming plasma will be major improvements of the processing capabilities of the technology

[45].

Because it is considered that a major drawback of DC plasma torches is the short lifetime of the cathode and this problem can be solved by RF technology, the development of high power hybrid RF and DC plasma torches are worked by Applied Plasma Technologies (APT). A hybrid plasma torch (RF+DC) have been developed with a good energy efficiency (between 80 and 95%) for a power of 150 kW [50]. In conclusion, although this technology is advantageous due to having no electrode erosion, now, they are commonly available with limited power levels with high investment costs [10].

4.3. AC Plasma Torches

AC arc plasma studies have been performed to get high enthalpy gas flows almost simultaneously in the United States and in the former Soviet Union for the need of simulation of high temperature re-entry since 1960s [39]. In recent years, alternating current (AC) plasma torches have been used more extensively in different types of plasma technologies mostly for the application of high-power plasma generators. In this type of plasma torches, plasma is generated by the energy of AC current of industrial frequency by heating the gas. Different than the ballast resistance in DC arc plasma torches for the stabilization of DC arc, inductance coils (reactors) stabilize and regulate the operating regime of the AC plasma torches, to this respect the electrical power is simplified and the price is reduced [20].

AC plasma torches consist of mainly single phase and three phases torches. Different works have been done in USA, Russia, France, Norway, Germany and Japan for about 50 years [39]. Rutberg's group of Institute for Electrophysics and Electric Power at the Russian Academy of Sciences in St. Petersburg has conducted considerable researches on the three-phase AC technology in the former Soviet Union, later Russia [18, 51]. In Russia, a new design of three-phase AC plasmatron called "Zvezda" was developed in Keldysh Research Center as the three-arc and six-arc versions with the power of 1MW and 30 MW, respectively. In these plasmatrons, it is shown that the lifetime of electrode which is the main parameter to determine the working time of plasmatron can reach 500 h [40].

In Turkey, the high-power AC plasmatron test system has been established in AR&TeCS (ARTECS Anadolu R&D Technology Engineering and Consultancy Company, Ankara University

Technopolis) and qualification tests have been performed with Keldysh Research Center (Moscow, Russia) cooperation in October, 2016 [42, 52].

In France, MINES-Paris Tech and TIMCAL worked collaboratively between 2004 and 2009 to develop the AC plasma technology. PERSEE-MINES ParisTech have researched on three-phase AC plasma technology to apply in gasification and assisted combustion since 2009. Experimental and theoretical studies of the three-phase AC plasma system was conducted by two PhD thesis in 2013 and 2015 in France [53, 54].

Because of some weaknesses of DC plasma torch technologies which are limited lifetime causing to a lack of robustness, poor/limited reliability due to plasma stability, strong water-cooling needs, and need of AC/DC transformers with high costs, an three phase AC plasma technology has been developed to be integrated in a plasma electro-burner by the Center PERSEE MINES-ParisTech [6].

Although the application of alternating current brings additional difficulties caused by the variability with time of electrical parameters of the power source, AC plasma torches have some advantages comparing to DC plasma technologies especially in higher power as megawatt level, rectifiers of DC plasma torches are very complicated and expensive but AC plasmatrons do not require such complicated devices and are preferred in the application of high power levels. Also, electrode lifetime is higher in AC plasmatrons [20].

5. EFFICIENCY

General system efficiency is defined as the ratio of the net generated electricity to the energy input to the system:

$$\text{System efficiency } [\%] = \frac{\text{Power output } [MW]}{\text{Energy input to system } [MW]} \times 100 \quad (1)$$

After all, to get these values, the combustion and gasification efficiencies, besides the performance of the different prime moves, i.e. steam turbines, gas engines and CCGT units, are to be acquired [27].

To compare the performances between conventional systems and plasma gasification systems, different criteria can be used such as cold gas efficiency, LHV (Lower heating value) of the syngas and the net electrical efficiency [10].

Especially in thermal design of classical systems, composition of the fuel (feedstock) besides its energy content which are defined by ultimate analysis, proximate analysis and heating values are crucial [8]. It is important to normalize the quantities of the fuel (MSW, feedstock) and concerned elements, as well as to verify that they are based on either the lower heating value (LHV) or higher heating value (HHV) of the fuel (MSW) [55]. Proximate analysis gives the composition of the MSW in terms of fixed carbon, volatiles and ash contents, moisture as well as its lower heating value (LHV). Ultimate analysis shows the elemental compositions of the waste on a dry ash free basis, in terms of carbon, hydrogen, oxygen, nitrogen, Sulphur and chlorine [27]. Ultimate analysis is found more difficult and expensive in comparison to proximate analysis and some standard methods are introduced for determination of the ultimate analysis of biomass components [8]. Also, for ultimate and proximate analysis, it is recommended that calculated data and measured data are used in common. Especially for biomass and waste feedstock, calculated and measured data may easily deviate by over 5%, so measured data must be verified carefully [55].

Low heating value is described by the following formula [56];

$$\sum(LHV \text{ of combustible component } \left(\frac{MJ}{Nm^3}\right) \times \text{concentration of component } (\%)) \quad (2)$$

With relatively long residence time for gas in the gasifier and high temperature of plasma gasification, tar products are broken and hazardous yields such as dioxin and furan are to be disposed. Because of low tar content in the syngas, better net electrical efficiency can be provided in plasma systems than auto thermal processes. High temperature also admits synthesizing and degrading chemical species and highly precipitate the chemical reactions. The reactive species generated by plasma such as atomic oxygen and hydrogen or hydroxyl radicals, also, enhance the efficiency of process [10, 8]. That can be seen in literature that these species increase strongly the degradation of the tars with higher efficiency than classical processes [57, 58]. In addition, plasma gasification is relatively insensitive to the content and quality of the feedstock [10, 8].

Plasma is advantageous compared to conventional system in terms of material yield, syngas purity, energy efficiency, dynamic response, compactness and flexibility. Enthalpy is supplied by plasma power which can be regulated independently of the heating value of the feedstock making the process independent of the ratio O/C and the nature of the plasma medium (neutral, oxidizing or

reducing atmosphere. On the other hand, precise control of the enthalpy is not permitted in classical system [10].

Performing the mass and energy balances enable the comparison of the technical performance of the different waste treatment methods by determining their overall system efficiencies. The fuel gas production which is the flow of the gas mixture generated by gasification per kilogram of product (Nm^3/kg) are given as the following when air is used as oxidant in the reactor [56].

$$\text{Fuel gas production (Nm}^3/\text{kg)} = \frac{\text{air flow rate (Nm}^3/\text{s)} \times 0.79}{[1 - (\text{CO} + \text{CO}_2 + \text{H}_2 + \text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_4/100)] \times \text{feeding rate (kg/s)}} \quad (3)$$

Energy efficiency of the process (also called as cold gas efficiency) is described by the ratio of the LHV of cold gas to the LHV of the waste treated, incremented by the added energy (electric or fuel) for allothermal processes per kg of waste;

$$n = \frac{\text{LHV of cold gas (kJNm}^{-3}\text{)} \times \text{fuel gas production (Nm}^3\text{kg}^{-1}\text{)}}{\text{LHV of waste treated (kJkg}^{-1}\text{)} + \text{allot hermal Power (kW)}/\text{waste flow rate (kgs}^{-1}\text{)}} \quad (4)$$

In plasma gasification, the source of electric energy used to generate plasma is to be considered [10].

Another study in literature [59] shows that gross electrical efficiency depends on the prime moves which are CCGT, gas engine and steam turbine and defined as the ratio of power output to the energy provided by the prime mover in equation (5) [27].

$$\text{Electrical generation efficiency [\%]} = \frac{\text{Power output [MW]}}{\text{Energy input to prime mover [MW]}} \times 100 \quad (5)$$

Because the heat source of the plasma treatment systems is the electrical energy other than released from combustion, is so independent of the content of treated feedstock and can be regulated to select optimal conditions [18].

Because the plasma gasification is insensitive to the waste content, for plasma treatment technology, the vital unit is plasma torch. The performance characteristics, efficiency, the supply gas, power and temperature levels and electrode lifetime are some parameters of plasma torch which affect the waste treatment device [18].

Thermal efficiency of the plasmatron

Using the system parameters (electrical parameters) of a high-power AC plasmatron operated in ARTECS facility [42], losses for the cooling system and thermal efficiency are determined by the equation (6):

$$n = \frac{P-W}{P} \quad (6)$$

where P is the power in the arcs, W is the heat losses ($W=\dot{m}c(T_o-T_i)$), \dot{m} is the mass flow rate of the water, c is the specific heat of the water, T_i and T_o are the temperatures of the inlet water and outlet water, respectively. $(P-W)$ is the energy for the working gas heating [42, 60].

Thermal efficiency of the plasmatron in ARTECS facility which is about 75-80% is calculated using parameters in Table 3.

Table 3. Parameters of High Power Plasmatron in ARTECS Facility

No	P [kW]	n	Q [kg/s]	\dot{m} [kg/s]	T_i [°C]	T_o [°C]	H [MJ/kg]
1	1101.79	0.745257	0.118	6.583	16.96	27.16	7.25
2	1011.77	0.757711	0.106	6.046	23.82	33.52	7.52
3	1037.73	0.761923	0.106	5.806	23.28	33.46	7.75
4	1128.47	0.777179	0.125	5.773	23.46	33.88	7.30

Also, enthalpy is determined in the equation (7) [60]

$$H = \frac{Pn}{Q} + H_{T_0} \quad (7)$$

Where P is power in the arcs, n is thermal efficiency of the plasma torch, Q is the working gas flow rate (kg/s) and H_{T_0} is the initial enthalpy of the plasma forming gas. Enthalpy (H) is about 7.5 MJ/kg. $H_{T_0}=0.288$ MJ/kg at $T_{gas}=300$ K.

6. ECONOMIC ANALYSIS

Especially for countries with limited space such as Japan and European countries, the cost of landfill is high [61]. Also, a tipping fee and transportation of waste to be paid is high where disposal is difficult and landfilling is subject to some regulations from the EPA (Environmental Protection Agency). The economics of plasma gasification facility is very appropriate via multiple income streams although it is complex. Firstly, tipping fees for taking waste is removed with

plasma gasification and electricity is produced for output. Also, another revenue from plasma gasification are the valuable products which are liquid fuels, hydrogen and effective syngas. There are another minor revenue streams which are slag and sulfur for sale [16].

Another cost estimation of a typical plant is given as a feedstock of 3000 tons of MSW per day with cost over 400 million \$ producing about 120 MW of electricity. Also, another estimation is given for a 2000 tons MSW per day is about 250 million \$ with the potential to generate 900 kWh for each ton of MSW and 1200 kWh/ton if it is equipped with cogeneration auxiliaries [62].

In literature, some different cost estimates are present in different countries. An estimation of the construction cost of a 750 TPD is 150 million US \$ which equals to 0.2 million US\$/TPD [16]. In Korea, 0.39 million US\$/TPD is paid for 10 TPD plant constructed. According to a study [3] when the treatment capacity is increased, thermal plasma gasification processes are more economical due to decrease of construction cost with increased capacity, profits from the utilization of syngas as an energy source, and the decrease of total operation costs such as labors cost and overhead charges. When the characteristics between 10 and 100 TPD thermal plasma plants for MSW treatment is compared, thermal plasma consumption power is 0.817 MWh/ton and 0.447 MWh/ton, heat loss from waste product of masses is 16% and 10%, heat loss through system walls 14% and 7% in 10 TPD scale and 100 TPD scale, respectively. Also, energy recycling is not used in 10 TPD, whereas is used through steam turbine in 100 TPD scale [3].

Another economic analysis [63] made an estimation finding the plasma very competitive in waste treatment that the cost of landfill burial 105-160 Euros/tonne, traditional incineration 100-140 Euros/tonne, pyrolysis/thermolysis 90-150 Euros/tonnes and plasma methods 70-90 Euros/tonne and without syngas utilization 100-120 Euros/tonne [18].

So, we may come across the plasma assisted coal or waste gasification or burning as viable or not economic in some articles [3, 10, 18] while mentioning superiority of the plasma technology application compared to classical methods for this process in these articles.

7. CONCLUSION

Due to its advantages in mostly efficiency and environmental aspects, plasma technology has been preferred in energy production from waste, coal and biomass throughout the world. Plasma with high enthalpy, high temperature, high density, high residence time and reactive species such as

atomic oxygen and hydrogen or hydroxyl radicals increases the efficiency of conversion reactions compared to classical systems. In the term of heat balance, gas heating value output is highly bigger than the electricity input of plasma system.

Also, plasma technology is an environment friendly technology reducing the emissions of hazardous gases such as CO, CH₄ and higher hydrocarbons, NO_x and SO_x. In plasma gasification process, because of the less tar content in syngas, electrical efficiency is higher than that of conventional one.

It is seen in literature that different types of plasma torches are used by different companies in different countries. In comparison of DC, AC and RF plasma technologies, AC plasma torches are considered as favorable especially in megawatt levels with high electrode lifetime, not requiring complicated rectifiers and lower cost. For that reason, many research programs on AC type plasma system development and new applications, like gasification of wastes and coal have been started [53, 51].

Plasma gasification technology of waste has many opportunities such as reducing the need for landfills, environmental friendly disposal of hazardous waste. Also, syngas which is final product of gasification can be used as renewable fuel or precursor of many different chemicals. On the other hand, plasma technology has some technical drawbacks which need to be improved such as extending life of the electrodes and stabilization of plasma.

In economic aspects, although different studies exist in literature, typically the installed cost of a plasma gasification plant is between 0.13-0.39 million US\$/TPD (ton per day). When the treatment capacity is increased with higher TPD scale, plasma gasification processes will become more economical, means near 0,13 million US\$/TPD [3]. Also, for countries with high tipping fees for MSW and high electric rates, plasma gasification plants can be considered as more economic [62]. The economic efficiency will come from increase of chemical efficiency.

In comparison of chemical efficiency between plasma technology and conventional systems; cold gas efficiency (energy efficiency) and the net electrical efficiency of the overall process are principal factors. Plasma is relatively insensitive to the waste content, so it can be used for gasification of all type of wastes with high efficiency. Also, because the tar content in syngas of plasma gasification is lower than that of conventional systems, the net electrical efficiency of the overall process of plasma gasification systems is higher than the classical ones. Apart from the

efficiency of chemical reaction from the plasma effect, another crucial factor is the thermal efficiency of the plasmatron itself. Because the cost of electrical energy is considered as a restrictor factor in this technology, the crucial unit is the plasma torch performance and efficiency [18]. In this point, the efficiency of plasmatron in ARTECS Facility which is %75-80 is in considerable levels. Although the technology readiness level of the plasma technologies has a level of maturity (over 6), the application on the different type of waste management or plasma assisted coal burning/gasification needs some additional R&D activities especially in simulation and modelling for obtaining optimum conditions, process development and control of gasification or burning process. In this respect, AR&TeCS has started to develop a remote sensing, measurement and control system for hazardous process like plasma gasification and burning with KOSGEB (Ankara, Turkey), applied Horizon 2020 (European Union) program for a plasma waste gasification project, and two coal related project to TUBİTAK for low quality lignite gasification and burning.

REFERENCES

- [1] Louis A. Rosocha, An Overview of Plasma Assisted Combustion: History and Applications, 5th International Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), USA, 24-25, 2009.
- [2] Chen F. F., Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion, Second Edition, Vol.1 California, 1983.
- [3] Byun Y., Cho M., Hwang S., Chung J., Gasification for Practical Applications, Thermal Plasma Gasification of Municipal Solid Waste (MSW), ISBN 978-953-51-0818-4, 2012.
- [4] Tendero C., Tixier C., Tristant P., Desmaison J., Leprince P., Atmospheric Pressure Plasmas: A Review, Spectrochimica Acta Part B 61 2-30, 2006.
- [5] Karpenko E., Messerle V., Ustimenko A., Plasma Application for Coal Combustion Activation, 31st EPS Conference on Plasma Phys, London, Vol.28G, P-1.023, 1-4, 2004.
- [6] Rohani V., Takali S., Gerard G., Fabry F., Cauneau F., Fulcheri L., A New Plasma Electro-Burner Concept for Biomass and Waste Combustion, Springer, pp. 1-15, 2017.
- [7] Carabin P., Gagnon J. R., Thermal Destruction Of Waste Using Plasma, Biomass and Waste to Energy Symposium Venice, Italy, 2006.
- [8] Basu P., Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory, ISBN 978-0-12-

374988-8, US., 2010.

[9] Nzihou A., Toward the Valorization of Waste and Biomass, Waste Biomass Valor, Springer, 1:3-7, 2010.

[10] Fabry F., Rehmet C., Rohani V., Fulcheri L., Waste Gasification by Thermal Plasma: A Review, Waste Biomass Valor, Springer, doi. 10.1007/s12649-013-9201-7, 2013.

[11] Gorokhovski M. A., Jankoski Z., Lockwood F. C., Karpenko E. I., Messerle V. E. and Ustimenko A. B., Enhancement of Pulverized Coal Combustion by Plasma Technology, Combustion Science and Technology, 179:10, 2065-2090, 2007.

[12] Messerle V. E., Lavrichshev O. A., Ustimenko A. B., Plasma Chemical Gasification of Solid Fuel with Mineral Mass Processing, World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol.9, No:7, 2015.

[13] M. Gorokhovski, E. I. Karpenko, F. C. Lockwood, V. E. Messerle, B. G. Trusov and A. B. Ustimenko, Plasma Technologies For Solid Fuels: Experiment And Theory, Journal of the Energy Institute, Vol.78, No:4, 2005.

[14] Bayrak Ö, TÜBA Temiz Kömür Teknolojileri Çalıştayı ve Paneli, Türkiye'nin Kömür Potansiyeli ve Hedefler, ODTÜ, Ankara, 2017.

[15] Republic of Turkey Ministry of Energy and Natural Resources, <http://www.enerji.gov.tr/en-US/Pages/Coal>, Last accessed: 06.07.2017.

[16] Dodge E., Plasma-Gasification of Waste Clean Production of Renewable Fuels through the Vaporization of Garbage Cornell University – Johnson Graduate School of Management Queens University School of Business, 2008.

[17] İbrahimioğlu, B, Plazma teknolojileri. Ürün Yayınları, ISBN 978-605-4938-12-4, Ankara, 2014.

[18] Tendler M., Rutberg P., and Oost G., Plasma Based Waste Treatment And Energy Production, Institute of Physics Publishing, Plasma Physics and Controlled Fusion, 47 A219-A230, 2005.

[19] Ozturk M., Waste Management in Turkey: Sustainable Resource Management, Republic of Turkey Ministry of Environment and Urbanization, 2014.

[20] Zhukov M.F. and Zasytkin I.M., Thermal Plasma Torches Design, Characteristics, Applications, ISBN 978-1-904602-02-6, UK, 2007.

- [21] Byun Y., Namkung W., Cho M., Chung J. W., Kim Y., Lee J., Lee C., Hwang S., Demonstration Of Thermal Plasma Gasification/Vitrification For Municipal Solid Waste Treatment, *Environ. Sci. Technol.* 44, pp. 6680-6684, 2010.
- [22] Ducharme C., Technical and Economic Analysis of Plasma-Assisted Waste To Energy Processes, M.S. Degree, Department of Earth and Environmental Engineering Fu Foundation of Engineering and Applied Science Columbia University, (79 pages) 2010.
- [23] M. Hrabovsky, Plasma Aided Gasification of Biomass, Organic Waste and Plastics, 30th ICPIG, Northern Ireland, UK, 2011.
- [24] World Bank: "What a Waste." March, 2012, website: <http://www.gasification-syngas.org/applications/waste-to-energy-gasification>, Last accessed: 06.07.2017.
- [25] Energy From Waste A Guide To The Debate, Department for Environment Food & Rural Affairs, www.gov.uk/defra, 2014.
- [26] Incineration of Municipal Solid Waste, Department for Environment Food&Rural Affairs, February 2013.
- [27] Yassin L., Lettieri P., Simonsa S.J.R., Germanà A., Techno-Economic Performance Of Energy-From-Waste Fluidized Bed Combustion And Gasification Processes In The UK Context, *Elsevier Chemical Engineering Journal* 146, pp. 315-327, 2009.
- [28] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Tehlikeli Atık İstatistikleri Bülteni (2015), 6, 2016.
- [29] Eurostat, [http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/File:Municipal_waste_treatment_by_type_of_treatment,_EU-27,\(kg_per_capita\),_1995_-_2015-F2.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/File:Municipal_waste_treatment_by_type_of_treatment,_EU-27,(kg_per_capita),_1995_-_2015-F2.png), Last accessed: 06.07.2017.
- [30] Nishikawaa H., Ibe M., Tanaka M., Takemoto T., Ushio M., Effect Of Dc Steam Plasma On Gasifying Carbonized Waste, *Elsevier Vacuum*, Vol. 80, 11-12, pp. 1311-1315, 2006.
- [31] Li J., Liu K., Yan S., Li Y., Han D., Application Of Thermal Plasma Technology For The Treatment Of Solid Wastes In China: An Overview, Vol.58, pp. 260-269, 2016.
- [32] Blees T., Prescription for the Planet, The Painless Remedy for our Energy & Environmental Crises, BookSurge Publishing, 1-4196-5582-5, 2008.
- [33] Young G. C., "From Waste Solids to Fuel," *Pollution Engineering*, pp. 45-49, 2008.
- [34] Young G. C., "Garbage In, Power Out, How Trash Can Power Ethanol Plants," *Public Utility Fortnightly*, pp. 72-76, 2007.

- [35] Young G. C., “Zapping MSW with Plasma Arc, An economic evaluation of a new technology for municipal solid waste treatment facilities,” *Pollution Engineering*, 2002.
- [36] Rutberg, PhG., Bratsev, AN., Kuznetsov, VA., Popov, VE., Ufimtsev, AA., Shtengel’, SV.: On efficiency of plasma gasification of wood residues. *Biomass and Bioenergy* 35, pp. 495-504, 2011.
- [37] Karpenko E. I., Karpenko Y. E., Messerle V. E. and Ustimenko A. B., Using Plasma-Fuel Systems at Eurasian Coal-Fired Thermal Power Stations, 56: 456, 2009.
- [38] Karpenko E. I., Messerle V. E., and Ustimenko A. B., Use of Plasma Fuel Systems at Thermal Power Plants in Russia, Kazakhstan, China, and Turkey, ISSN 0018-1439, *High Energy Chemistry*, Vol. 43, pp 224-228, Pleiades Publishing, 2008.
- [39] Fulcheri L., Fabry F., Takali S., Rohani V., Three-Phase AC Arc Plasma Systems: A Review, Springer, *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, Volume 35, 4, pp 565-585, New York, 2015.
- [40] Svirchuk Y. S. and Golikov A. N., Three-Phase Zvezda-Type Plasmatrons, *Ieee Transactions On Plasma Science*, Vol. 44, 12, 2016.
- [41] Degrez G., Abeele D.V., Barbante P., and Bottin B., Numerical Simulation of Inductively Coupled Plasma Flows and Hypersonic (Re-)entry Flows, *European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering*, 2000.
- [42] Toraman S., Katircioglu T. Y., Terzi Ç., The High-Power Arc-jet Plasma Generator (Plasma Torch) Characteristics and Performance, *The Journal of Defense Sciences, Savunma Bilimleri Dergisi*, Accepted in June 2017.
- [43] Ghorui S., Tiwari N., Meher K.C., Jan A., Bhat A., Sahasrabudge S.N., Direct Probing Of Anode Arc Root Dynamics And Voltage Instability In A Dc Non-Transferred Arc Plasma Jet, *Plasma Sources Science and Technology*, Vol. 24, 6, 2015.
- [44] Gomez E., Rani D. A., Cheeseman C.R., Deegan D., Wise M., Boccaccini A.R., Thermal Plasma Technology For The Treatment Of Wastes: A Critical Review, Elsevier, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 161, 2-3, pp. 614-626, 2009.
- [45] Mostaghimi J., Boulos M. I., Thermal Plasma Sources: How Well are They Adopted to Process Needs?, Springer, *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, Vol. 35, 3, pp. 421-436, 2015.

- [46] Boulos M.I., Fauchais P., and Pfender E., DC Plasma Torch Design and Performance, Handbook of Thermal Plasmas, pp. 1-63, 2016.
- [47] Szente RN, Munz RJ, Drouet MG, Effect Of The Arc Velocity On The Cathode Erosion Rate In Argonnitrogen Mixtures, 1987.
- [48] Szente RN, Munz RJ, Drouet MG, Arc Velocity And Cathode Erosion Rate In A Magnetically Driven Arc Burning In Nitrogen, Journal of Physics D: Applied Physics, Vol.21, 6, 1988.
- [49] Reed T.B., Induction-Coupled Plasma Torch, AIP Journal of Applied Physics, Vol. 32, 5, 821, 1960.
- [50] Matveev, et al, Development and Experimental Investigations of High Power Hybrid Waste Biomass Valor Plasma torches—5th International Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPEC), Alexandria, Virginia, 2009.
- [51] Rutberg P.G., Kuznetsov V.A., Serba E.O., Popov S.D., Surov A.V., Nakonechny G. V., Nikonov A.V., Novel three-phase steam–air plasma torch for gasification of high-caloric waste, Applied Energy 108, pp. 505-514, 2013.
- [52] Yazıcıoğlu O., Katircioğlu T.Y., İbrahimoğlu B., Temperature Measurement of a High Power Plasmatron Plasma Flow Using Optical Emission Spectroscopy, Sühad, Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi, Accepted in April, 2017.
- [53] Rehmet C., Theoretical and experimental study of a 3-phase AC plasma torch associated to a gasification process (in French), PhD thesis dissertation defended on 23 September, 2013, MINES-ParisTech (196 pages).
- [54] Takali S., Etude Théorique D'un Électrobruteur Industriel Dote D'une Torche À Arc Triphasée Pour La Valorization Énergétique De Combustibles À Faible Pouvoir Calorifique (in French), PhD thesis dissertation defended on December 2, 2015, MINES-ParisTech (227 pages).
- [55] Higman C., Burgt M., Gasification, ISBN 978-0-7506-7707-3, 2003.
- [56] Zhao Y., Sun S., Zhou H., Sun R., Tian H., Luan J., Qian J., Experimental study on sawdust air gasification in an entrained-flow reactor, Elsevier, Fuel Processing Technology Vol. 91, 8, pp. 910-914, 2010.
- [57] Huang H., Tang L., Treatment of Organic Waste Using Thermal Plasma Pyrolysis Technology. Energy Conversion and Management, Vol. 48, pp. 1331–1337, 2007.

- [58] Tang, L., Huang, H., Zhao, Z., Wu, C.Z., Chen, Y.: Pyrolysis of Polypropylene in A Nitrogen Plasma Reactor. *Ind. Eng. Chem. Res.* 42, pp. 1145–1150, 2003.
- [59] Bridgwater A.V., Toft A.J., Brammer J.G., A Techno-Economic Comparison of Power Production By Biomass Fast Pyrolysis With Gasification And Combustion, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.6, 3, UK, 2002.
- [60] Rutberg Ph G, Safronov A A, Popov S D, Surov A V and Nakonechny Gh V, *Multiphase Stationary Plasma Generators Working On Oxidizing Media*, Iopscience, Plasma Physics and Controlled Fusion, Vol. 47, 10, 2005.
- [61] Cyranoski D., Waste management: One man’s trash, *Nature*, Vol.444, pp. 262-263, 2006.
- [62] Pourali M., Application of Plasma Gasification Technology in Waste to Energy Challenges and Opportunities, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, Vol. 1, 3, pp. 125-130, 2010.
- [63] Joos M, Colloquium Ghent University, Jozef Plateauzaal, Summary, 21 March, 2002.

LR 115 TİP 2 DEDEKTÖRLERİNDEKİ İZ YOĞUNLUKLARININ FARKLI MİKROSKOP LENSLERİ İLE BELİRLENMESİ

Mutlu İÇHEDEF*¹

Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, 35100, Bornova-İzmir

Özet

LR 115 Katihal nükleer iz kazıma dedektörleri çevresel radon ölçümlerinde yaygın olarak kullanılan radyasyon dedektörleridir. Bu dedektörler ile gerçekleştirilen radon ölçümlerinde dedektör üzerinde birim alanda oluşan iz sayısı (iz yoğunluğu) optik mikroskop kullanılarak belirlenir. Kullanılan mikroskopların lens özellikleri çalışmadan çalışmaya değişmektedir. Bu çalışmada dedektörlerdeki iz yoğunlukları üç farklı büyütme sahip lens (40x, 100x ve 400x) kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda kullanılan objektif lens büyüklüğü arttırıldıkça hesaplanan iz yoğunluklarının da arttığı tespit edilmiştir. Kalibrasyon işlemi ile bu farklılık ortadan kalkmaktadır. Bu çalışma kalibrasyon işleminin önemini bir kere daha ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: LR 115, Radon, İz yoğunluğu, Mikroskop

DETERMINATION of TRACK DENSITIES on LR 115 TYPE DETECTORS WITH DIFFERENT MICROSCOPE LENS

Abstract

LR 115 Type 2 solid state nuclear track detectors (SSNTDs) are detectors which are widely used for environmental radon measurements. Radon measurements are performed by using these detectors are generally presented as track $\text{cm}^{-2} \text{day}^{-1}$ (track density) and track densities are determined under optic microscopes. Microscopes used in this type studies have several different type of lens. In this study, track densities on the detectors are studied by using three different microscope lens (40x, 100x and 400x) and obtained results are compared. As a result of calculations it was found that track densities are increased with microscope objective lens rising. The divergent can be eliminate by calibration. This study once again emphasized the importance of calibration.

Keywords: LR 115, Radon, Track density, Microscope

*¹Mutlu İÇHEDEF, icedef@yahoo.com

GİRİŞ

Radyasyon hayatımızda önemli bir yer tutmaktadır ve bu radyasyonun büyük bir kısmını doğal radyasyon teşkil etmektedir. Doğal radyasyon ya da doğal radyoaktiviteyi radyoaktif bozunum serilerinin üyeleri oluşturmaktadırlar. Radon uranyum bozunum serisinde yer alır, radyumun bozunumuyla oluşur ve doğada yaygın olarak bulunur. Yarı ömrü 3,82 gün olan radon alfa bozunumu yaparak bozunum ürünleri olan polonyum ve kurşunu oluşturur. Katıhal nükleer iz kazıma dedektörleri radon ve radon bozunum ürünlerinin konsantrasyonlarının ölçümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. ^{222}Rn 'un radyoaktif bozunumundan yayınlanan alfa parçacığı dedektöre çarptığında dedektör yüzeyinde gizli bir iz oluşur. Bu izler kimyasal iz kazıma işlemi uygulanarak optik mikroskop altında görünür hale getirilir [1, 2, 3]. Kimyasal iz kazıma işlemi sonrasında dedektör yüzeyindeki birim alandaki iz yoğunluğu mikroskop altında sayılarak bulunur. Bu sayım işlemi elle ya da otomatik olarak yapılır. Belirlenen iz yoğunluğu dolaylı olarak radon konsantrasyonu ile orantılıdır.

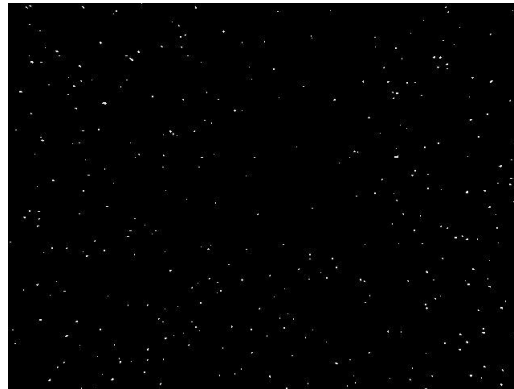
Katıhal nükleer iz kazıma dedektörleri (SSNTDs) basit, dayanıklı, kararlı, yüksek duyarlılığa sahip oldukları, elektronik donanıma ihtiyaç duymamaları ve ucuz olmaları sebebiyle diğer dedektörlere göre önemli avantajlara sahiptirler. Genellikle inorganik özellik gösteren mika ve cam ile organik özellik gösteren selüloz asetat, selüloz nitrat, polikarbonat ve polietilen türevi katı materyallerden üretilen bu dedektörler farklı radyasyon türlerinin dedeksiyonunda kullanılabilirler. Bununla birlikte özellikle alfa yayınlı ve yaygın olarak da Radon ve bozunum ürünlerinin konsantrasyonunun tayinin de kullanılmaktadırlar [4, 5, 6].

Günümüze kadar çok sayıda çalışmada kimyasal iz kazıma işleminin deneysel koşullarının optimizasyonu araştırılmıştır. Bu çalışmalarda uygun sıcaklık, kimyasal çözelti ve iz kazıma süresi gibi birçok faktör ayrı ayrı incelenmiştir. Kimyasal iz kazıma işlemi sonrasında dedektörlerdeki izlerin mikroskop altında sayılması aşamasında farklı büyütme oranlı lenslere sahip mikroskoplarla bu okuma yapılabilmektedir. LR-115 dedektörlerle yapılan çalışmalar incelendiğinde de birçok çalışmada farklı lens büyüklüğü kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmalarda iz sayımları genellikle 40x [7], 100x [3, 8, 9, 10], 150x [11], 160x [12, 13], 200x [14], 400x [15, 16], 500x [17] ve 600x [18] gibi farklı büyütme oranlarına sahip mikroskoplar ile belirlenmiştir. Bununla birlikte literatürde farklı lensler ile iz sayımı işleminin gerçekleştirilerek karşılaştırıldığı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada mikroskop lensinin büyütme

oranının iz yoğunluklarına etkisi araştırılmıştır.

MATERYAL VE METOT

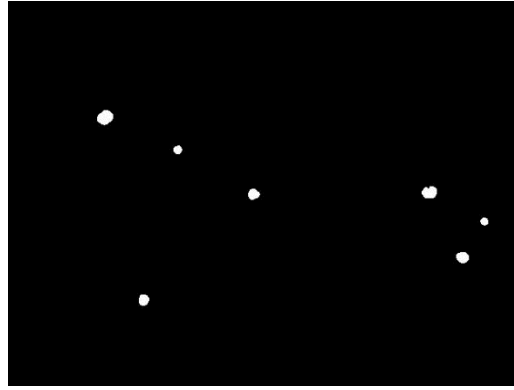
Bu çalışmada radon ölçümleri DOSIRAD, France (LR-115 Film, Tip 2, tek taraflı) film dedektörleri ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada her biri 2 cm x 2 cm boyutunda 30 adet dedektör kullanılmıştır. Dedektörler toprak içerisinde açılan silindirik boşluklara ters kap yöntemine [19, 20] uygun olarak yerleştirilmiş ve 4 hafta süre ile radona maruz bırakılmıştır. Daha sonra dedektörler laboratuvarında %10'luk NaOH çözeltisinde 60°C' de 90 dakika süre ile iz kazıma işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlem sonrası dedektörler çözeltiden çıkarılmış, saf su ile yıkanmış ve kurumaya bırakılmıştır. İz sayımları Leica DM 500 optik mikroskop, Leica ICC50 (3.2 MP) dijital kamera, Leica Application Suite (LAS EZ) yazılımı ve bilgisayardan oluşan sistem ile yapılmıştır. İz yoğunluğunun belirlenmesi işlemi Arias ve arkadaşları (2005) tarafından detaylı olarak anlatılan yarı otomatik iz sayım metoduyla gerçekleştirilmiştir [21]. Her bir dedektör üzerindeki iz yoğunluğu üç farklı lens (40x, 100x ve 400x) ile ayrı ayrı belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan lensler (40x, 100x ve 400x) dedektör üzerinde sırasıyla 8.07, 1.28 ve 0.08 mm² lik alanları görüntülemektedir. Dedektör başına en az 10 adet alan görüntülenmiş [22] ve iz yoğunlukları hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan yarı otomatik sayım metodu üç aşamadan meydana gelmektedir. Birinci aşamada her bir lens ile bir dedektörde en az 10 farklı alan belirlenir, bu alanların fotoğrafları bilgisayara kaydedilir (Şekil 1, 2, 3).



Şekil 1. 40x lens ile alınan görüntü



Şekil 2. 100x lens ile alınan görüntü

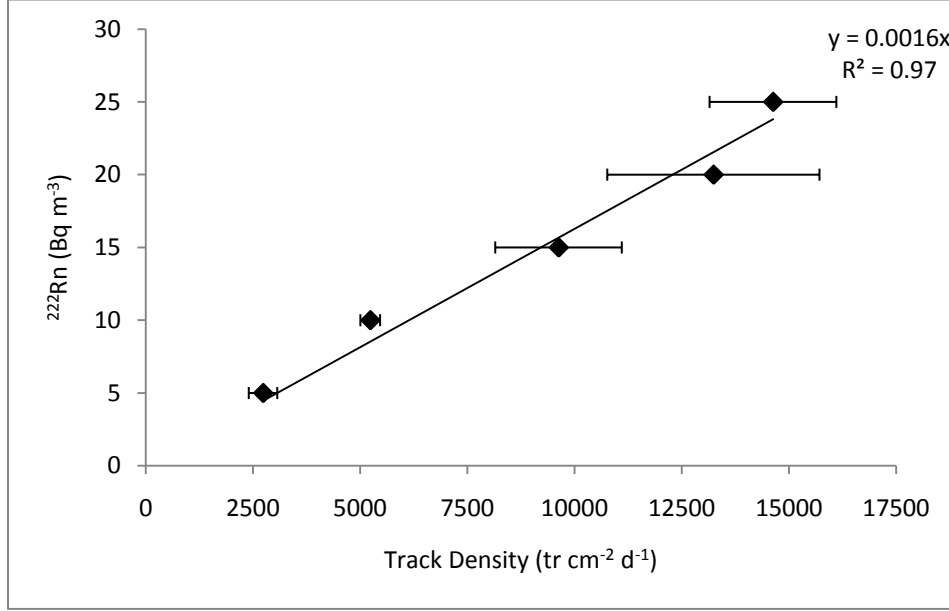


Şekil 3. 400x lens ile alınan görüntü

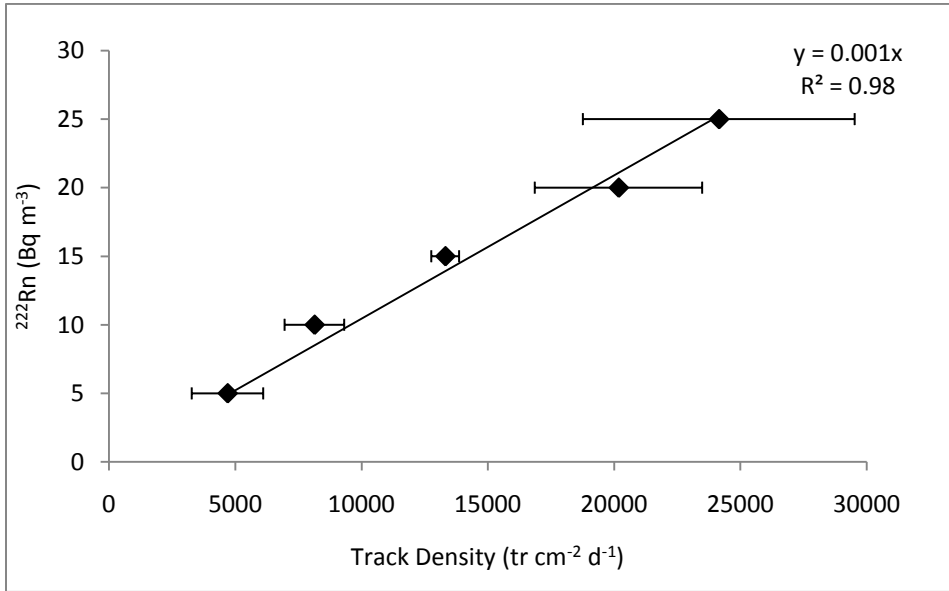
İkinci aşamada kaydedilen görüntüler üzerindeki beyaz izlerin (alfaların çarpması sonucu oluşan) belirginleştirilmesi için uygun bir görüntü işleme yazılımı ile rötuş yapılır. Bu aşamada öncelikle görüntünün parlaklığı ayarlanmış ve daha sonra ise görüntü siyah beyaza dönüştürülerek yeni bir dosya olarak kaydedilmiştir. Üçüncü aşamada ise kaydedilen siyah beyaz görüntü üzerindeki izler SCION yazılımı programı kullanılarak sayılmıştır. SCION yazılımı hücre kültüründe bakterilerin sayımı için hazırlanmış bir yazılım olmakla birlikte dedektör üzerindeki iz yoğunluğunun belirlenmesinde de kullanılmaya başlanmıştır [21].

Dedektörlerin kalibrasyonu özel hazırlanmış kalibrasyon haznelerinde gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon haznesi olarak 2 litre hacminde hava geçirmeyen cam kavanozlar kullanılmıştır. Çalışmada kalibrasyon için 5 adet kalibrasyon haznesine sırasıyla 10, 20, 30, 40, 50 Becquerel (Bq) aktivitede radyum standartı ve LR 115 dedektörler yerleştirilmiştir. Daha sonra bu dedektörler yukarıda anlatılan sürece uygun olarak işleme tabi tutulmuştur. Mikroskop altında

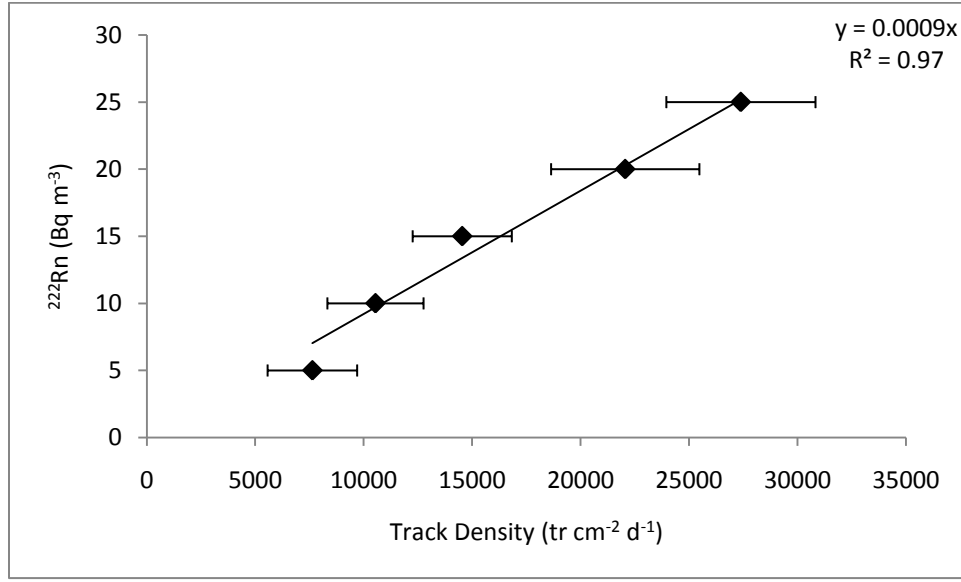
okuma işlemleri sonrasında iz yoğunlukları $\text{iz cm}^{-2} \text{gün}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir. Kalibrasyon faktörleri her bir lens büyütme oranı için (40x, 100x, 400x) sırasıyla 0.0016 ± 0.0002 , 0.0010 ± 0.0001 ve 0.0009 ± 0.0001 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. 40x lens için yapılan kalibrasyon eğrisi



Şekil 5. 100x lens için yapılan kalibrasyon eğrisi



Şekil 6. 400x lens için yapılan kalibrasyon eğrisi

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada aynı dedektör için farklı mikroskop lensleri kullanılarak hesaplanan iz yoğunlukları karşılaştırılmıştır. Çalışmada 30 dedektör ile toprak gazı radon ölçümleri alınmış ve bu dedektörler üzerinde yaklaşık 1000 adet görüntüdeki iz yoğunlukları hesaplanmıştır. Farklı büyüklükteki mikroskop lensleri kullanılarak aynı dedektör için hesaplanan iz yoğunluklarının arasında anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar iz cm⁻² gün⁻¹ birimi ve kalibrasyon sonucu Bq m⁻³ birimi olarak Tablo 1’de verilmiştir. Seçilen bir dedektörde 40x, 100x ve 400x lens için hesaplanan iz yoğunlukları sırasıyla 15156, 26133 ve 29696 iz cm⁻² gün⁻¹ şeklindedir (Tablo 1).

Tablo 1. İz yoğunluğu ve aktivite olarak sonuçların karşılaştırılması

Dedektör	İz yoğunluğu (iz cm ⁻² gün ⁻¹)			Aktivite (Bq m ⁻³)		
	40X	100X	400X	40X	100X	400X
C1	5341	9207	10545	9.08	9.20	9.49
C4	15156	26133	29696	25.76	26.13	26.72
C5	7908	12587	14545	13.44	12.58	13.09
C21	6885	10980	13575	11.70	10.98	12.21
C37	46785	78812	87030	79.53	78.81	78.32
C42	32645	54930	60969	55.49	54.93	54.87
C45	8618	14215	15515	14.65	14.21	13.96
I23	1178	2274	2545	2.00	2.27	2.29
I28	2901	4642	5090	4.93	4.64	4.58
I29	55078	93947	104000	93.63	93.95	93.60
K9	6883	10900	11456	11.00	10.90	10.31
K18	3037	5024	5818	5.16	5.03	5.20
K20	3054	5234	6060	5.19	5.23	5.54
L11	2658	4868	5090	4.52	4.87	4.58
L20	1052	1846	2118	1.79	1.85	1.96
L34	1397	2523	2424	2.37	2.52	2.18
L35	1359	2656	2666	2.30	2.66	2.40
L38	33612	57524	64484	57.14	57.54	58.00
L41	6884	11980	13454	11.70	11.98	12.10
P21	1353	2243	2545	2.30	2.24	2.29
S2	974	1433	2060	1.66	1.43	1.85
S3	1808	2999	3272	3.07	2.99	2.94
S8	56049	95061	105818	95.28	95.06	95.23
S11	592	1114	1333	1.00	1.11	1.20
S18	52943	89032	100121	90.00	89.00	90.10
S26	591	1013	1212	1.00	1.01	1.00
S28	1174	1955	2181	1.99	1.95	1.96
S35	1412	2134	2424	2.40	2.13	2.18
S36	1291	2290	2909	2.19	2.29	2.60
S44	86114	146876	162666	146.39	146.87	146.40

Tablo 1’den görüldüğü üzere farklı büyütme oranlı lensler ile yapılan ölçümlerin sonuçları $\text{iz cm}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ biriminde verildiğinde birbirinden çok farklı sonuçlar elde edilmektedir. Kalibrasyon işlemi ile Bq m^{-3} biriminde hesaplanan sonuçlar ise farklı lensler kullanılmasına rağmen birbiri ile uyum içerisindedir. Bu durum sonuçlarını iz yoğunluğu olarak sunun çalışmaların birbirleri ile karşılaştırılmasını imkânsız kılmaktadır. Konuyla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde kalibrasyon yapılmadan sonuçların iz yoğunluğu olarak sunulması oldukça sık karşılaşılan bir durumdur. Ekvator’ da yapılan bir çalışmada Katihal iz kazıma dedektörleri kullanılarak toprak gazı radon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 1986 ve 1987 yılları arasında meydana gelen 4 büyük deprem öncesi radon konsantrasyonlarının önemli değişimler gösterdiği tespit edilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar iz cm^{-2} olarak sunulmuştur [23]. Balducci ve arkadaşları tarafından İtalya’ da LR 115 dedektörler ile toprak gazı radon seviyelerinin belirlendiği bir başka çalışmada da sonuçlar $\text{iz cm}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ biriminde verilmiştir [24]. Hindistan’ da yapılan bir çalışmada ise Mat fayı boyunca meydana gelen sismik olaylar ile radon anomalileri arasındaki ilişkilerin incelenmesi amacıyla LR 115 Tip 2 dedektörlerle toprak gazı radon ölçümleri yapılmıştır. Çalışmada dedektörler 15 gün sürelerle toprak içerisinde tutulmuş ve elde edilen sonuçlar iz cm^{-2} (15 günlük dönem için) olarak verilmiştir [25]. Özellikle depremler ile ilişkili olarak yapılan ve uzun süreli radon ölçümlerinin alındığı çalışmalarda sonuçların iz cm^{-2} ya da $\text{iz cm}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ olarak sunulması çok sık görülmektedir. Burada amaç radonun deprem öncesi nasıl bir değişim gösterdiğini bulmak ve bir ilişki elde etmek olduğu için araştırmacılar çoğu zaman sonuçları kalibre etme gereği duymamaktadırlar. Ghosh ve arkadaşları tarafından Hindistan’ da yapılan bir başka çalışmada da CR-39 dedektörler üzerindeki iz yoğunlukları 100x lensli mikroskop ile belirlenmiştir. Çalışmada iz yoğunluklarının depremlerle ilişkili olarak oldukça geniş bir aralıkta 300 ile 900 $\text{iz m}^{-2} (48 \text{ saat})^{-1}$ arasında değiştiği gösterilmiştir [26].

Diğer tarafta bir çok çalışmada kalibrasyon deneyleri de yapılmış ve elde edilen kalibrasyon katsayısı kullanılarak sonuçlar birim hacimdeki aktivite olarak sunulmuştur. Yunanistan’ da yapılan bir çalışmada 1986’ dan 2000 yılına kadar toprak gazı radon ölçümleri LR 115 dedektörlerle yapılmıştır. Toprak gazı radon konsantrasyonlarının 4365 ile 54415 Bq m^{-3} arasında değiştiği bildirilmiştir [20]. İtalya’nın Sicilya Adası’ndaki Etna Yanardağı çevresinde yapılan ölçümlerde CR-39 Katihal iz kazıma dedektörleri kullanılmış ve sonuçlar Bq m^{-3} olarak

sunulmuştur [27].

Yukarıda verilen örneklerde görüldüğü gibi literatürde Katıhal iz kazıma dedektörleri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda sonuçlar iz yoğunluğu veya aktivite olarak verilebilmektedir. Özellikle depreme yönelik ve uzun süreli radon değişiminin incelendiği çalışmalarda kalibrasyona ihtiyaç duyulmaksızın sonuçlar iz yoğunluğu olarak sunulmaktadır. Bununla birlikte her çalışmada kullanılan lens büyüklüğü farklıdır ve bu farklılık sonuçların diğer çalışmalara karşılaştırmasını imkânsız kılmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Ng, F.M.F., Yip, C.W.Y., Ho, J.P.Y., Nikezic, D., Yu, K.N., "Non-destructive measurement of active-layer thickness of LR-115 SSNTD" *Radiation Measurement*, 38, 1-3, 2004.
- [2] Saç, M.M., Harmansah, C., Camgoz, B., Sozbılır, H. "Radon monitoring as the earthquake precursor in fault line in western Turkey". *Ekoloji*, 20, 93-98, 2011.
- [3] Şen G.Y., İçhedef, M., Saç, M.M., Yener, G. "Effect of natural gas usage on indoor radon levels". *Journal of Radioanalytical Nuclear Chemistry*, 295, 277-282, 2013.
- [4] Bondarenko, O.A., Korneev, A.A., Onishchuk, Yu. N., Bereznoy, A.V., Aryasov, P.B., Antonyuk, D. and Dmitrienko, A.V. "Application of SSNTD for maintenance of radiation and nuclear safety of the Sarcophagus". *Radiation Measurements*, 30 (6), 709-714, 1999.
- [5] Leung, S.Y.Y., Nikezic, D. and Yu, K.N. "Derivation of V function for LR-115 SSNTD from its partial sensitivity to ^{222}Rn and its short-lived progeny". *Journal of Environmental Radioactivity*, 92 (1), 55-61, 2007,
- [6] İçhedef, M. "Radon Difüzyon Hızının Farklı Büyük Toprak Gruplarına Göre Değişiminin İncelenmesi", Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 2011.
- [7] Misdaq, M.A. and Essaouif, Z., "Study of the weekly irrigation cycle of a cultivated field in a semi-arid area (Marrakech region, Morocco) by using CR-39 and LR-115 II track dedektors and radon as a natural tracer". *Radiation Measurement*, 42, 431-440, 2007.
- [8] Jönsson, G. "Experience from using plastic film in radon measurement". *Radiation Measurement*, 31, 265-270, 1999.
- [9] Khan, S.M., Naqvi, A.H., Azam, A. "Study of indoor radon and its progeny levels in rural areas of North India using LR-115 plastic track dedektors". *Radiation Measurement*, 43, 385-388,

2008.

[10] Karadeniz, Ö., Yaprak, G., Akal, C., Emen, İ. "Indoor radon measurements in the granodiorite area of Bergama (Pergamon)-Kozak, Turkey". Radiation Protection Dosimetry, 149 (2): 147-154, 2012.

[11] Dwivedi, K.K., Ghosh, S., Singh, S., Limatenjen, J., Satyanarayana, Murthy, G.S., Prasad, J., Srivastava, A. "Indoor radon measurements in some Indian cities". Radiation Measurement, 28, 647-649, 1997.

[12] Plannic, J., Radolic, V., Vukovic, B. "Radon as an earthquake precursor". Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 530, 568-574, 2004.

[13] Miklavcic, I., Radolic, V., Vukovic, B., Poje, M., Varga, M., Stanic, D., Planinic, J. "Radon anomaly in soil gas as an earthquake precursor". Applied Radiation Isotopes, 66, 1459-1466, 2008.

[14] Leung, S.Y.Y., Nikezic, D., Yu, K.N. "Passive monitoring of the equilibrium factor inside a radon exposure chamber using bare LR 115 SSNTDs." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 564, 319-323, 2006.

[15] Singh, S., Malhotra, R., Kumar, J., Singh, L. "Indoor radon measurements in dwellings of Kulu area, Himachal Pradesh, using solid state nuclear track detectors". Radiation Measurement, 34, 505-508, 2001.

[16] Baykara, O. and Doğru, M. "Measurements of radon and uranium concentration in water and soil samples from East Anatolian Active Fault Systems (Turkey)". Radiation Measurement, 41, 362-367, 2006.

[17] Da Silva, A.A.R. and Yoshimura, E. M., "Calibration of LR-115 for ^{222}Rn monitoring taking into account the plateout effect". Radiation Protection Dosimetry, 103, 367-370, 2003.

[18] Chauhan, R.P. and Chakarvarti, S.K. "Radon diffusion through soil and fly ash: effect of compaction". Radiation Measurement, 35, 143-146, 2002.

[19] Vulkan, U., Steinitz, G., Zafrir, H. "Long-distance (+100m) transport of radon in syenitic rocks at Makhtesh Ramon, Israel". Nuclear Geophysics, 6, 261-271, 1992.

[20] Papastefanu, C. "Measuring radon in soil gas and groundwaters: a review". Annals of Geophysics 50, 569-578, 2007.

- [21] Arias, H., Palacios, D., Sajo-Bohusa, L. and Vilorio, T. "Alternative procedure for LR-115 chemical etching and alpha tracks counting". *Radiation Measurements*, 40, 357-362, 2005.
- [22] Papachristodoulou, C., Ioannides, K., Spathis, S. "The effect of moisture content on radon diffusion through soil: assessment in laboratory and field experiments". *Health Physics*, 92, 257-264, 2007.
- [23] Humanante, B.F., Giroletti, E., Idrovo, J., Monnin, M., Pasinetti, R. and Siedel, J.L. "Radon Signals Related to Seismic Activity in Ecuador, March 1987". *Pageoph* 132, 506-520, 1990.
- [24] Balducci, O., Bigazzi, G., Cioni, R., Leonardi, M., Meletti, C., Norelli, P., Pesca, A., and Taddeucci, G. "Monitoring ²²²Rn in soil gas of Garfagnana (Tuscany) aimed at earthquake prediction". *Annali di Geofisica* 37, 861-881, 1994.
- [25] Jaishia, H.P., Singh, S., Tiwari, R.P., Tiwari, R.C. "Correlation of radon anomalies with seismic events along Mat fault in Serchhip District, Mizoram, India" *Applied Radiation and Isotopes*, 86, 79-84, 2014.
- [26] Ghosh, D., Deba, A., Sengupta, R., Patra, K.K., Bera, S. "Pronounced soil-radon anomaly- Precursor of recent earthquakes in India". *Radiation Measurements* 42, 466-471, 2007.
- [27] Giammanco, S., Imme, G., Mangano, G., Morelli, D., Neri, M. "Comparison between different methodologies for detecting radon in soil along an active fault: The case of the Pernicana fault system, Mt. Etna (Italy)". *Applied Radiation Isotopes*, 67, 178-185, 2009.

TARİHİ EDİRNE GAR BİNASINDA KULLANILAN KUMTAŞLARINDA GÖRÜLEN BOZULMA NEDENLERİ

İsmail KILIÇ¹, Ali Haydar GÜLTEKİN²

ismail.kilic@kirklareli.edu.tr, gultekin@itu.edu.tr

¹*Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Kırklareli.*

²*İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği, İstanbul.*

Özet

Tarihi Edirne Gar Binası, Edirne'nin Karaağaç semtinde bulunmaktadır. Meriç ve Tunca nehirleri üzerindeki köprülerden geçen düz bir yolla Edirne'ye bağlanmaktadır. Bina, Mimar Kemalettin Bey tarafından gar binası olarak tasarlanmıştır. Edirne Garı, 1977 yılında yeni kurulan Edirne Mühendislik ve Mimarlık Akademisi'ne verilmiştir. Günümüzde, Trakya Üniversitesi tarafından kullanılmaktadır.

Gar binasında büyük holün yer aldığı orta bölümün dış duvarları, pencere ve kapı kemerleriyle silmeler, girişteki kulelerin üst bölümleri ve kemer duvarları kumtaşından yapılmıştır. Binada kullanılan kumtaşlarında zaman içerisinde bozulmaların meydana geldiği tespit edilmiştir. Yapılan araştırmada kumtaşlarındaki bu bozulmaların sebepleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu nedenle, kumtaşlarının kimyasal analizi yapılmış, petrografik ve mineralojik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan bu çalışmayla, gelecekte yapılacak olan restorasyon çalışmalarına yardımcı olmak hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tarihi Edirne Garı, Kumtaşı, Bozulma, Restorasyon

¹*İsmail KILIÇ, ismail.kilic@kirklareli.edu.tr*

REASONS OF DECOMPOSITION OBSERVED IN SANDSTONES USED IN THE HISTORICAL EDİRNE STATION BUILDING

Abstract

The Historical Edirne Station Building is in Karaağaç district of Edirne. It is connected to Edirne through a straight road passing over the bridges over the rivers Meriç and Tunca. The building was designed as a station premises by Architect Kemalettin Bey. Edirne Station was given to newly established Edirne Engineering and Architecture Academy in 1977. Today, it is used by Trakya University.

In the station building, the exterior walls of the middle section where the big hall is located, door and window arches and moldings, upper parts of the towers on the entrance and the arch walls are made of sandstones. It is detected that decompositions took place in the sandstones used in the building over time. It has been tried to determine the reasons of these decompositions in the sandstones in the research conducted. For that reason, chemical analyses were done on the sandstones and it has been tried to determine the petrographical and mineralogical characteristics of it. The research aimed to shed light on the restoration works to be carried out in the coming years.

Keywords: Historical Edirne Station, Sandstone, Decomposition, Restoration

1. GİRİŞ

Malzeme, bir binada biçim ve üslubu taşıyan önemli bir unsurdur. Binanın fiziksel bütünlüğünde meydana gelen bozulma, malzemenin bozulmasıyla doğrudan ilgilidir. Dolayısıyla restorasyonun pratikte temel konusu, doğrudan malzemeye yapılan müdahale olmaktadır. Kısmen eskimiş malzemeyi yenisiyle değiştirme kolaylığı günümüz koruma anlayışında yer bulmamaktadır. Fiziksel yönden zayıflamış bir malzemenin güçlendirilerek ömrünün uzatılması restorasyon anlayışının bir gereğidir. İşlevsel ve fiziksel bütünlüğünü yitirmiş durumda olan bir malzemenin ise değiştirilerek yenilenmesi işlemi de restorasyon için gerekli bir müdahale yöntemi olarak kabul edilmektedir. Bu aşamada, değiştirilecek olan malzemenin özelliklerinin, bilimsel yöntemlerle araştırılıp belirlenmesi, yeni malzemenin özgün malzemeye uyumlu olması büyük önem taşımaktadır.

2. MATERYAL ve METOT

2.1. Kumtaşı

Kumtaşı, kum boyu tanelerin tutturulması ile oluşan, içinde kum modu hakim olan kırıntılı doğal taştır [1]. Kum boyu taneler henüz pekişmeden önce gevşek ve gözenekli durumdadırlar [2]. Çapları 1/16-2 mm arasında olan kum tanelerinin doğal bir çimento (silisli, karbonatlı, demirli vd.) ile birleşmesiyle oluşan kırıntılı tortul taşlara kumtaşı denir [3]. Bağlama işini yapan maddelerin kompozisyonu kayacın dayanımına, masifliğine ve tokluğuna etki etmektedir [4]. Kumtaşlarında esas olan etkenler mineralojik yapı, tane şekli ve büyüklüğü, çimentonun kimyasal bileşimidir. Tanelerini birleştiren çimento silisli ve kalkerli olan kumtaşları yapı işlerinde kullanılabilir ancak killi, demir oksitli ve jipsli olanlar ise kullanılamaz [5].

2.2. Tarihi Edirne Garı

Tarihi Edirne Garı, İstanbul’u Avrupa’ya bağlayan demiryolu üzerindeki istasyonlardan birisidir. Kemalettin Bey’in “Şark Demiryolları Şirketi” adına tasarladığı dört tren istasyonundan (Filibe, Selanik, Sofya, Edirne) sonuncusudur [6].

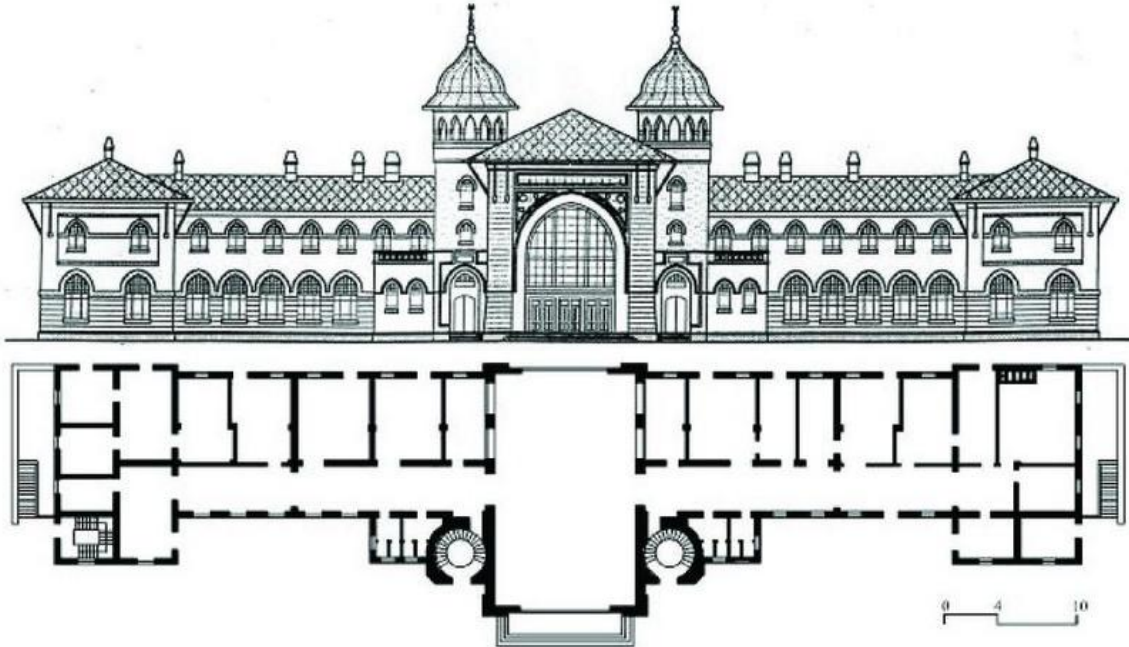
Bodrumla birlikte üç katlı, dikdörtgen planlı, seksen metre uzunluğundaki gar, tuğla yığma sistemine göre gerçekleştirilmiştir. Büyük holün yer aldığı orta bölümün dış duvarları, pencere ve

kapı kemerleriyle silmeler, girişteki kulelerin üst bölümleri ve kemer duvarları kesme taşla yapılmış, döşemelerde çelik kirişler kullanılmış, yapının üzeri çelik makaslı, kırma bir çatıyla örtülmüştür. Şekil 1’de gar binasına ait görüntüler verilmiştir.



Şekil 1. Tarihi Edirne Garı’na ait görüntüler [7]

Giriş doğrultusuna göre simetrik bir biçimde planlanmış olan garın orta bölümünde, yapının iki tarafıyla da ilişkili, yaklaşık iki buçuk kat yüksekliğinde bir giriş holü bulunmaktadır. Giriş yönünde, holün iki yanına, üzerlerinde kapalı teraslar bulunan ve simetrik planlamayı pekiştiren, üzerleri sivri kubbelerle örtülü silindirik kuleler yerleştirilmiştir. Yapının iki ucuna ve silindirik kulelerin içine yerleştirilmiş dört adet merdivenle erişilen üst katın tümüyle lojman olarak planladığı anlaşılmaktadır [6]. Gar binasının Şekil 2’de giriş cephesi ve planı görülmektedir.



Şekil 2. Gar binasının giriş cephesi ve planı [8]

Kumtaşlarında görülen bozulma nedenlerinin belirlenmesi aşamasında, onarım çalışmaları esnasında kopan, dökülen parçalardan küçük parçacıklar halinde üç örnek alınmıştır. Bu örnekler, mineralojik-petrografik çalışmalar ve kimyasal analizlerde kullanılmıştır. Şekil 3'te gar binasındaki kumtaşlarında oluşan bozulmalar görülmektedir.



Şekil 3. Kumtaşlarındaki bozulma görüntüleri [7]

2.3. Kimyasal Bileşim Analizleri

Kimyasal bileşim, taşların bünyesindeki oksitlerin ve iz elementlerin toplamını göstermektedir. Kimyasal bileşim taşların fiziksel, mekanik ve diğer özelliklerini etkileyen en önemli faktörlerden birisidir.

Bu çalışmada, kimyasal analizler Kanada ACME Analitik Laboratuvarları Ltd.'de yapılmıştır. Kimyasal bileşimi saptamada ICP-Emission Spectrometry yöntemi kullanılmıştır.

Tortul kayaçlardaki temel mineraller ve bu minerallerin bozulmaya uğraması sonucu oluşabilecek ürünler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Tortul kayaçlardaki temel mineraller ve bozulma ürünleri [9]

Kayaç Oluşturan Temel Mineraller	Bozulma Ürünleri
Kuvars	Kuvars, çözünmüş silika
Feldispatlar	Killer, Ca, Na, K iyonları, çözünmüş silika
Muskovitler	Killer, Na, K iyonları, çözünmüş silika, jipsit
Biyotit	Killer, demir oksitleri, K, Mg, Fe iyonları, çözünmüş silika
Amfiboller	Demir oksitler, Na, Ca, Mg, Fe iyonları, çözünmüş silika, killer
Proksinler	Demir oksitler, Ca, Mg, Fe, Mn iyonları, çözünmüş silika, killer
Olivinler	Demir oksitler, Mg, Fe iyonları, çözünmüş silika
Granatlar	Ca, Mg, Fe iyonları, killer, demir oksitler, çözünmüş silika
Alüminyum silikatlar	Kil, silis, jipsit
Magnetit	Hematit, limonit
Kalsit	Ca ⁺ iyonları, HCO ₃ iyonları
Dolomit	Ca ⁺² Mg ⁺² iyonları, CaHCO ₃ iyonları
Demir karbonatları	Ca, Mg, Fe iyonları, demir oksitler, HCO ₃ iyonları

Kumtaşı örneklerinin oksit içerikleri Tablo 2'de, iz element içerikleri ise Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 2. Kumtaşı örneklerinin oksit içerikleri

Örnek No	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	MgO %	CaO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	MnO %	Cr ₂ O ₃ %	LOI %
1	71.56	6.55	2.32	2.53	6.32	1.83	1.28	0.43	0.07	0.04	0.098	6.6
2	70.97	6.66	2.89	2.47	6.10	1.81	1.27	0.43	0.06	0.04	0.084	7.1
3	65.10	6.79	2.59	2.95	8.83	1.74	1.32	0.37	0.20	0.06	0.055	9.9

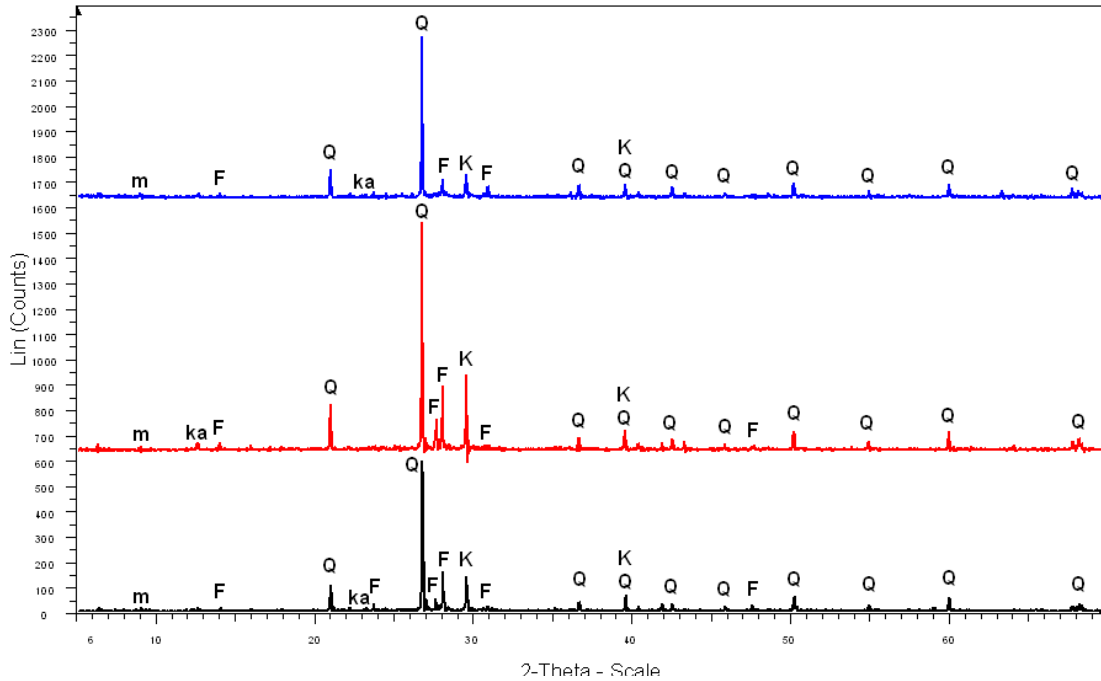
Tablo 3. Kumtaşı örneklerinin iz element içerikleri

Örnek No	Cu ppm	Ba ppm	Zn ppm	Ni ppm	Co ppm	Sr ppm	Zr ppm	Ce ppm	Y ppm	Nb ppm	Sc ppm	Ta ppm
1	11	292	33	136	<20	199	155	44	11	<5	6	<20
2	6	232	27	156	<20	201	109	38	13	<5	6	<20
3	13	248	63	191	<20	305	99	<30	11	<5	7	30

2.4. XRD (X-ışını Difraktometre) Çalışmaları

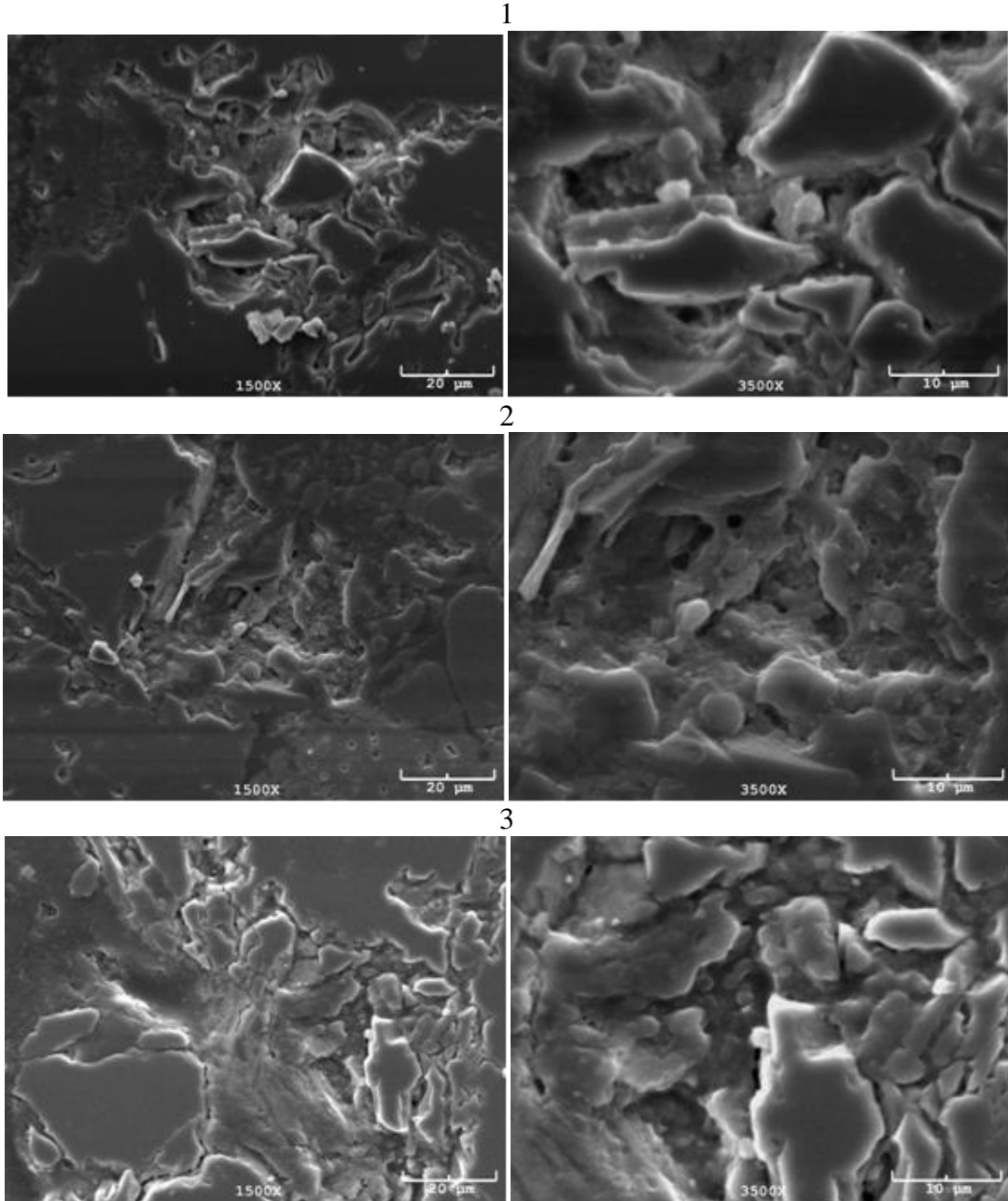
XRD, minerali tanımlama ve mineralin kristal yapısını belirleme tekniğidir. Yöntemin temeli, taneler arasındaki mesafenin tespitine dayalıdır. Yapılan çalışmada, İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi Laboratuvarındaki XRD cihazı kullanılmıştır.

XRD çalışmalarının sonucunda; kumtaşlarına ait örneklerin esas bileşenlerini kuvars, feldispat ve kalsit minerallerinin oluşturduğu tespit edilmiştir. Şekil 4'te örneklere ait XRD grafikleri verilmiştir.

**Şekil 4.** Örneklerin XRD grafikleri (Q: kuvars, F: feldispat, K: kalsit, m: mika, ka: kaolinit)

2.5. SEM (Taramalı Elektron Mikroskop) Çalışmaları

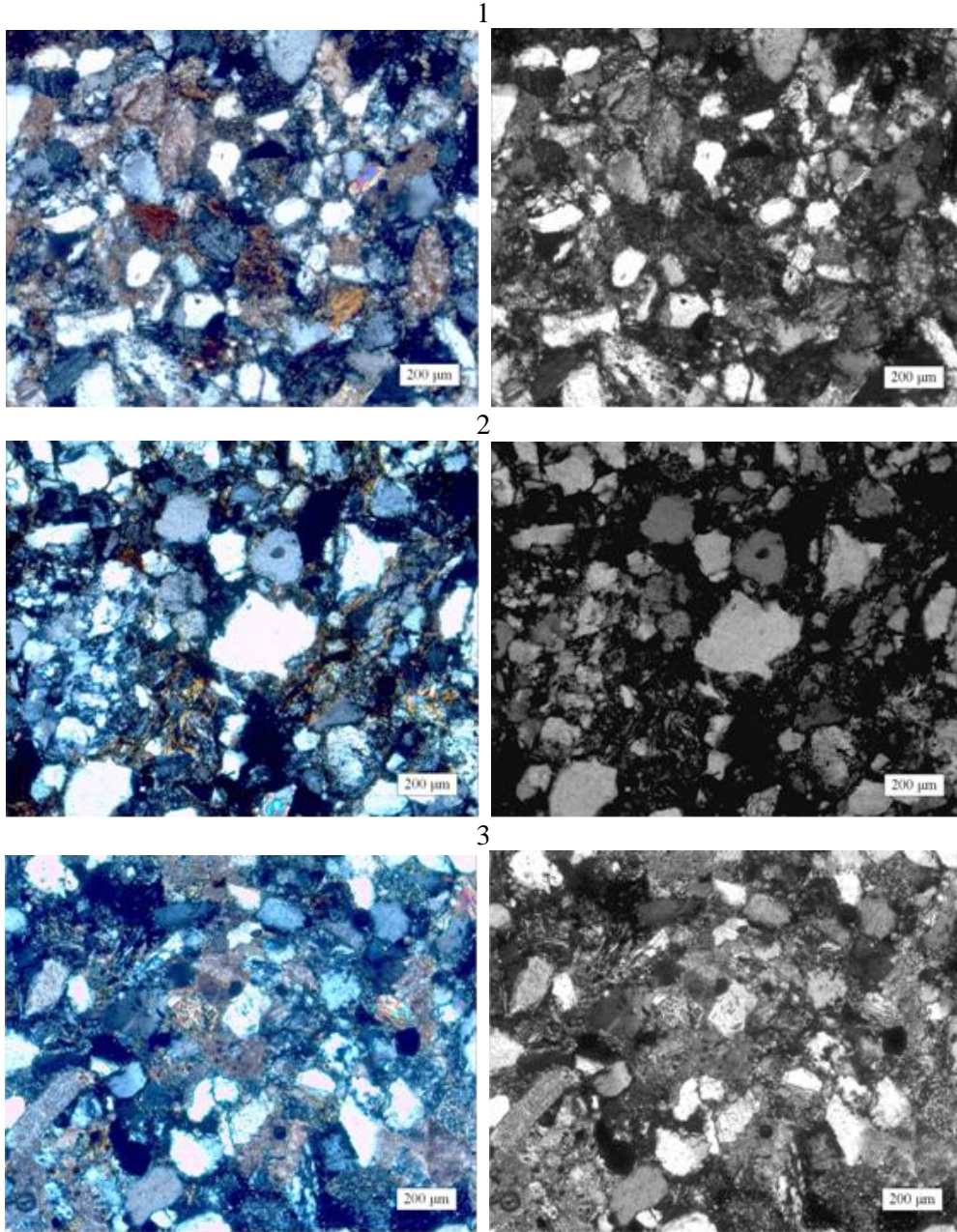
SEM çalışmalarında, İTÜ Kimya Metalürji Fakültesi Laboratuvarındaki JEOL JSM T330 marka Taramalı Elektron Mikroskobu kullanılmıştır. Yapılan SEM çalışmalarının sonucunda; örneklerde ayrışma ve erime boşlukları olduğu gözlemlenmiştir. Ayrışma ürünü olarak kumtaşı örneklerinde kaolinit meydana gelmiştir. Şekil 5'te kumtaşı örneklerinin SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5. Kumtaşı örneklerinin 1500 ve 3500 kat büyütülmüş SEM görüntüleri

2.6. Polarizan Mikroskop Çalışmaları

Polarizan mikroskop çalışmalarında ilk önce kumtaşı örneklerinin ince kesitleri yapılmıştır. Şekil 6'da ince kesitlerin polarizan mikroskop altındaki görüntüleri sunulmuştur. Kumtaşı örneklerinin incelenmesi sonucu elde edilen modal bileşim değerlerine göre, Dott'un kumtaşı sınıflaması yapılmış ve kumtaşı çeşidi belirlenmiştir. İnce kesitlerin polarizan mikroskop altında incelenmesi ile elde edilen sonuçlar Tablo 4'de verilmiştir.



Şekil 6. Kumtaşı örneklerinin polarizan mikroskop altındaki tek nikol ve çift nikol görüntüleri (10X)

1 Nolu kumtaşı örneğinin görüntüsü incelendiğinde, taneler eş boyutlu, köşeli ve yarı köşelidir. Opaklar, demiroksitler halinde tanelerin etrafını sarmıştır. Kalsit ve feldispat ayrıışmıştır. Magmatik, metamorfik ve sedimanter kökenli kayaç parçaları boldur. Taneler arasında matriks yoktur, taneler arasına demir hamuru girmiştir. Plajoklazlar serizitleşmiş, ince taneli muskovit (mika) haline dönüşmüştür. Killeşme vardır. Tane boyutlarına bakılacak olursa; kuvars 0,03-0,5 mm, kayaç parçaları 0,2-0,6 mm, feldispatlar 0,1-0,4 mm arasındadır. % 58 kuvars, % 18 feldispat, % 6 kalsit, % 3 opak (hematit ve limonit), % 2 mika (muskovit), % 13 kaya kırıntısı içeren kumtaşı örneğidir.

2 Nolu kumtaşı örneğinin görüntüsü incelendiğinde, iri ve ince taneli, köşeli ve yarı köşelidir. Kayaç parçaları magmatik, sedimanter ve metamorfiktir. Kayaç parçaları boldur. Kuvars tane boyutları 0,05-0,5 mm arasındadır. Feldispatlar 0,1-0,4 mm arasındadır. Feldispatlar ayrıışmış, killeşmiş ve serizitleşmiştir. Taneler arasında matriks yoktur, taneler arasına demir hamuru girmiştir. Tanelerin etrafını Demir opaklar sarmıştır. % 56 kuvars, % 19 feldispat, % 6 kalsit, % 3 opak (hematit ve limonit), % 2 mika (muskovit), % 14 kaya kırıntısı içeren kumtaşı örneğidir.

3 Nolu kumtaşı örneğinin görüntüsü incelendiğinde, taneler eş boyutludur. Kuvarslar köşeli yarı köşelidir. Feldispatlar ayrıışmıştır. Plajoklazlar yer yer polisentetik ikizlidir (pijama dokulu). Tane boyutları 0,2- 0,5 mm arasında değişmektedir. Kalsitlerde dilinim izleri görmek mümkündür. Metamorfik kayaç parçaları % 2 civarında. % 55 kuvars, % 18 feldispat, % 10 kalsit, % 5 opak (hematit ve limonit), % 3 mika (muskovit), % 9 kaya kırıntısı içeren kumtaşı örneğidir.

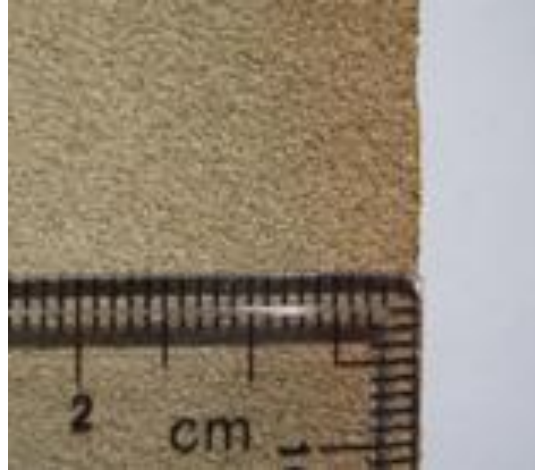
Tablo 4. Kumtaşı örneklerinin modal bileşimleri ve kumtaşı çeşidi

Örnek No	Modal Bileşim (%)	Q, F, L (%)	Kumtaşı Çeşidi
1	% 58 kuvars, % 18 feldispat, % 6 kalsit, % 3 opak (hematit ve limonit), % 2 mika (muskovit), % 13 kaya kırıntısı.	Q : 65,2 F : 20,2 L : 14,6	SUBARKOZ
2	% 56 kuvars, % 19 feldispat, % 6 kalsit, % 3 opak (hematit ve limonit), % 2 mika (muskovit), % 14 kaya kırıntısı.	Q : 62,9 F : 21,3 L : 15,7	SUBARKOZ
3	% 55 kuvars, % 18 feldispat, % 10 kalsit, % 5 opak (hematit ve limonit), % 3 mika (muskovit), % 9 kaya kırıntısı.	Q : 67,1 F : 21,9 L : 11	SUBARKOZ

Polarizan mikroskop altında yapılan incelemeler sonucu kumtaşı örneklerinin subarkoz çeşidi kumtaşı olduğu tespit edilmiştir.

3. SONUÇ ve ÖNERİLER

Kumtaşlarının dış yüzeylerinde yaklaşık 100 yıllık bir süreç içerisinde yeşilden kahverengiye doğru bir renk değişikliğinin meydana geldiği Şekil 7’de görülmektedir. Bu renk değişikliği taş yüzeyinden 10-13 mm kadar içe doğru etki etmiştir. Renk değişikliği en belirgin olarak dıştan içe doğru ilk 5 mm kısmında açık kahverengi olarak görülmektedir. Renk değişimi 5-10 mm arasında, sarı ve açık kahverengi tonlarındadır ve belirginlik azalmaktadır. Etkinin devam ettiği 10-13 mm arasında, renk değişimi genelde sarı ve belirginlik iyice azalmıştır. Kumtaşı yüzeyinde oluşan bu renk değişikliğine, taşın bileşimindeki, demir oksit (Fe_2O_3) mineralleri sebep olmuştur.



Şekil 7. Kumtaşı örneğinin dış yüzeyinde oluşan renk değişikliği

Tarihi Gar Binası kumtaşlarında görülen bozulma nedenlerini sıralayacak olursak; taşın bünyesine, suyun girmesi sonucu, çimentosu karbonat olan kumtaşının çimentosunun çözünerek boşalması; kumtaşı bünyesindeki, feldispat minerallerinin ayrışması sonucu oluşan killeşme ve getirdiği alterasyonlar; donma-çözülme gerilmeleri sonucu oluşan deformasyonlar; bazı kumtaşı tabakaları arasında kil ve çamur aralanmaları bulunması ve zaman içerisinde atmosferik koşulların etkisiyle bu tabakaların ayrışmaya uğraması; kumtaşı içerisinde, çamur topaklanmalarının bulunması ve bu topaklanmaların çabuk deforme olarak kumtaşı yüzeyinde ayrışmaya neden olması; basınç, çekme ve eğilme gerilmeleri sonucunda çatlakların oluşması; kumtaşı bünyesindeki demir oksitlerin, atmosferik etkiler sonucu, yüzeyde renk değişikliğine sebep olması; insan eliyle yapılan tahribatlar olarak sıralamak mümkündür.

İklimin kuru ve soğuk oluşu, feldispatın ayrışmasını önlemektedir. Bu nedenle, malzemenin daha uzun ömürlü olması açısından, feldispatik kumtaşların, kuru ve soğuk iklime sahip bölgelerde yapı malzemesi olarak kullanılması gerekmektedir. Ayrıca, ocaktan taş seçimi yapılırken, kıltaşı, çamurtaşı, ardaalanmalarının olmadığı, kumtaşının kalın katmanlı olduğu yerlerden, seçilerek çıkarılması önerilmektedir.

4. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu tarafından, TÜBAP 2009/11 numaralı proje ile desteklenmiştir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Naz, H., Aras, M., Kırıntılı Kayalar Sedimentolojisi Rezervuar Özellikleri ve Basen Evrimi, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Araştırma Grubu Başkanlığı, Eğitim Yayınları, N:27, Ankara, 1993.
- [2] Üşenmez, Ş., Sedimentoloji ve Sedimanter Kayaçlar, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Yayın No:5, Ankara,1985
- [3] Yüzer, E., Angı, S., Güngör, Y., Doğal Taş Deyince, Granitaş Taş Kültürü Yayını, İstanbul, 2008.
- [4] Onargan, T., Köse, H., Deliormanlı, H., Mermer, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 2006.
- [5] Ulupınar, Ö., Bazı Kumtaşı Kireçtaşı ve Tüflerde Kimyasal Yöntemlerle Sağlamaştırma Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, ss:86, İstanbul, 2000.
- [6] Trakya Üniversitesi, Tarihi Rektörlük Binası, Edirne. Erişim yılı: 2009. http://www.trakya.edu.tr/Koruma/rekt_binasi.htm
- [7] Kılıç, İ., Edirne (Keşan) Bölgesi Kumtaşlarının Yapı Taşı Olarak Kullanılabilirliği, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, ss:178, Edirne, 2009.
- [8] Trakya Gezi, Erişim tarihi: 06.06.2017, <http://www.trakyagezi.com/tarihi-edirne-tren-gari/>
- [9] Kulaksız, S., Doğal Taş (Mermer) Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 2005.

İÇ MEKÂN DÜZENLEMESİNDE ENGELLİLERE YÖNELİK ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Ali Mülayim*¹

Kırklareli Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Kayalı Yerleşkesi, Kırklareli

Özet

Bu makalenin amacı ortopedik engellilerin mekân içinde yaşadıkları problemlere çözüm önerileri sunmaktır. Bireylerin yapabileceği eylemler engel durumuna göre değişkenlik göstermektedir. Bu eylemlere göre geliştirilebilecek çözüm önerileri ve engellilere uygun donatı tasarımları ile engelli bireylerin herhangi bir yardıma ihtiyaç duymadan mekan içinde yaşamlarını sürdürebilmeleri sağlanabilir. Ayrıca önerilen düzenlemeleri yapmak, yasal zorunluluktan ziyade, engelli bireylerin yaşam konforunu dolayısıyla yaşam kalitesini arttırabilmek için gereklidir. Bu çalışmada özellikle tekerlekli sandalye kullanan engellilerin için iç mekan düzenlemesine dair öneriler ve görseller sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Engelli, İç Mekân Düzenlemesi, Yaşama Mekânı

Abstract

SOLUTION PROPOSAL FOR DISABILITY IN INTERIOR DESIGN

The purpose of this article is to propose solutions to the spatial problems of orthopedic (physical) disabled individuals. The actions that individuals are capable of doing vary according to their disability. With solutions and design of accessories, it is possible for the disabled to lead their lives without help. Moreover, aside from legal requirements, putting the suggestions into practice is necessary for the enhancement of the comfort and the quality of their lives. In this study, suggestions and images concerning regulations of interior design are given especially for disabled people with wheelchairs.

Keywords: Disabled, Interior Design, Living Space

*¹ Ali MÜLAYİM, ali.mulayim@kirkklareli.edu.tr

1. GİRİŞ

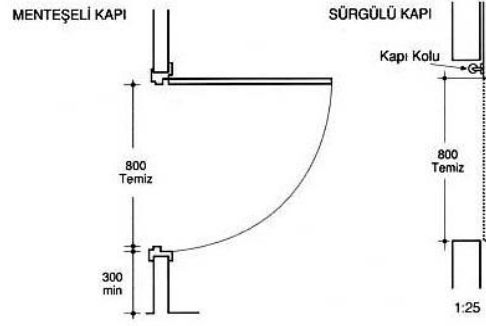
Mekân düzenlemesinde engellilere yönelik tasarımları yaşama ortamı ana başlığı altında dinlenme, çalışma ve temizlik ortamı tasarımı olarak üçe ayırabiliriz. Dinlenme ortamı insanların fiziksel veya psikolojik olarak enerjilerini topladıkları bir anlamda yenilenme mekânlarıdır. Bu mekânlarda kullanıcılar için hiçbir fiziksel kısıtlama olmamalıdır. İnsanlar için en iyi dinlenme mekânları kendileriyle baş başa kalabildikleri ortamlardır. Bu mekânların içinde de en önemlisi konutlarıdır. Temizlik ortamları ise banyo ve WC'leri kapsamaktadır. Temizlik ortamları hem mahremiyet açısından hem de hijyen açısından özellikle iyi tasarlanması gereken alanlardır. Çalışma ortamı ise dinlenme ortamına göre çok farklı alanları kapsamaktadır. Çalışma ortamı da iki başlık altında; hizmet üretilen ortamların tasarımı ve ürün üretilen ortamların tasarımı olarak sıralanabilir. Hizmet üretilen ortamlar okullar, hastaneler, kamu binaları, sosyal alanlar vb. ürün üretilen ortamlar ise atölyeler, fabrikalar vb. alanları kapsamaktadır.

Konutların giriş bölümlerinden başlayarak inceleyecek olursak, hacim bölümlenmeleri, döşemenin yapısı, mobilyaların tipi, boyutları, konumlandırılması ve gerekli manevra alanları en çok dikkat edilmesi gereken konulardır.

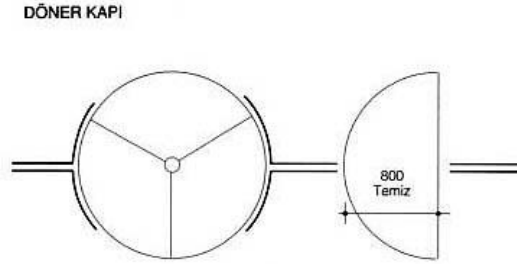
2. BULGULAR

2.1 Kapıların Engellilere Uygun Düzenlenmesi

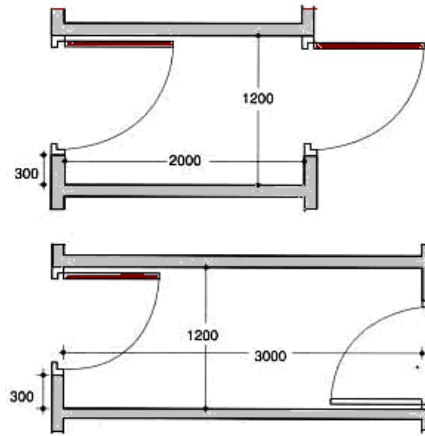
Konut girişi ve mekânlar arasında geçişi sağlayan kapılar ilk karşımıza çıkan konudur. Kapıların günümüz teknolojisinden faydalanılarak, otomatik kontrollü ve sürmeli yapılması en uygun olanıdır. Aslında engelliler için tavsiye edilen hacimler arası geçişleri kapılarla sınırlamak yerine boşluk bırakılmasıdır. Ancak mekânların ve kişilerin mahremiyeti açısından (banyo- yatak odası vb) kapı kullanımını zorunlu olabilmektedir. Engelli kişilere özel konutlar üretilmediği için kapılar genelde kanatlı yapılır ve bu kapıları kullanmak engelliler için oldukça zordur. Bu durumda kapı boşluklarının boyutu, açılım yönü ve kapının üzerinde bulunan mekanizmaların yeri kullanıcının hareket kabiliyetine göre düzenlenmelidir.



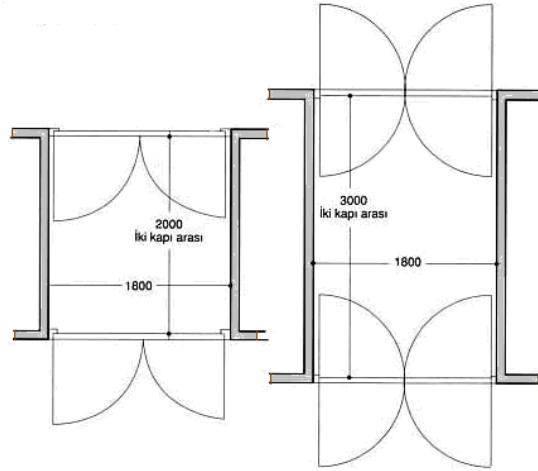
Şekil 1. Menteşeli ve Sürgülü Kapılarda Gerekli Net Genişlik [1]



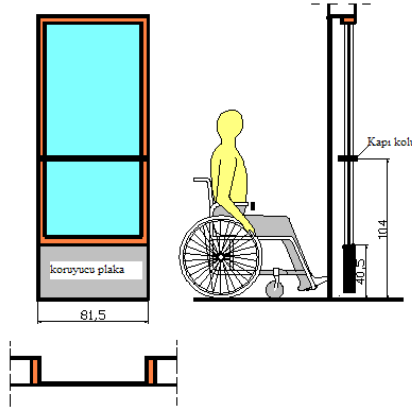
Şekil 2. Döner Kapılarda Gerekli Net Genişlik [1]



Şekil 3. İç Kapılarda Gerekli Ölçüler [1]



Şekil 4. Giriş Kapılarında Gerekli Ölçüler (mm) [1]

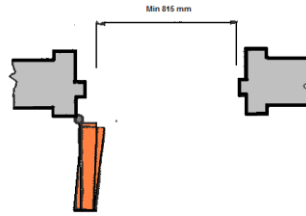


Şekil 5. Engellilere Uygun Tasarlanmış Camlı Kapı Çizimi (Ölçüler cm) [2]

Kapı girişleri bedensel engellilere göre düzenlenirken sadece tekerlekli sandalye kullanan engelliler değil tüm engelliler için uygun düzenlenmelidir. Bedensel engelliler arasında, tek elini kullanamayan veya iki elini de kullanamayan, yardımcı gereçlerle yürüyebilen vb. gibi birçok farklı engel grubu vardır. Bedensel engellilerin tamamı düşünüldüğünde, kapılarda temiz geçiş açıklığının yanında harekete veya sese duyarlı algılayıcılar kullanılması en uygun çözümdür. Ellerini kullanamayan engelliler kapı önüne geldiklerinde kapıdaki algılayıcı sayesinde kapı kendiliğinden açılacaktır. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli konulardan birisi kapının açık kalma süresidir. Bu süre hesaplanırken engellilerin, engelsiz bireylere göre daha yavaş hareket ettikleri mutlaka düşünülmeli ve kapının açık kalma süresi buna göre planlanmalıdır.

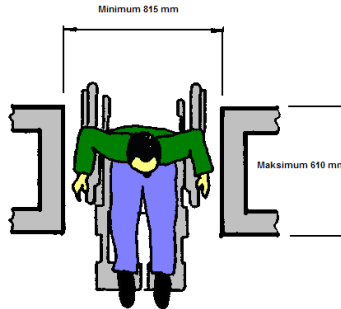
Fiziksel engelliler kapıyı tekerlekli sandalye ve yürüteçler ile itmek mecburiyetinde olduklarından kapı üzerinde çarpma yüksekliğinde koruyucu plaka olması tavsiye edilir. Koruyucu plaka, standartlara uygun ölçülerde takılmalıdır (bkz. Şekil 5) [3].

Camlı kapılarda mümkünse yaylı düzeneklerden kaçınılmalı, gerekli durumlarda geciktirici düzenekler, değişken basınç veya güç uygulayan düzenekler ya da elektromanyetik araçlar kullanılmalıdır. Kapıdaki cam alanlar anlaşılır şekilde belirlenmeli ve camlı kapı bitişiğindeki diğer sabit cam panellerden ayırt edilebilmelidir. Gerekli kavramayı sağladığından, manivelalı kapı kolları, topuz veya tokmaklar tercih edilmelidir [3].



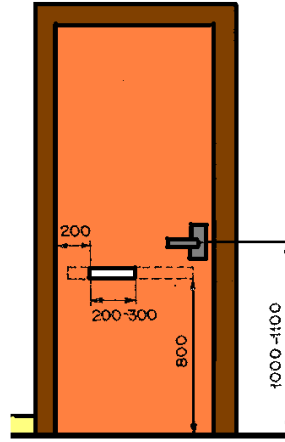
Şekil 6. Kapılarda Bırakılması Gereken Temiz Açıklık¹ [3]

Engellilere uygun kapı temiz açıklığı en az 815 mm olmalıdır. Kapı kolları ve kapı üzerinde bulunan tutamaklar kolayca kavranabilir ve fazla güç gerektirmeden kullanılabilir olmalıdır. Kapılarda eşik olmaması tercih edilmesine rağmen eşik yapma zorunluluğu varsa sürmeli kapılarda 19 mm'den diğer kapılarda ise 13 mm'den yüksek eşik yapılmamalı ve mutlaka uygun eğim yapılmalıdır.



Şekil 7. Kapı Genişliği ve Maks. Geçiş Derinliği² [3]

¹ Çizimler yazar tarafından yeniden düzenlenmiştir.



Şekil 8. Kapı Üzerindeki Ekipmanlar ve Gerekli Ölçüler (mm)³ [3]

Kapı üzerinde bulunan donanımlar da engellilere uygun düzenlenmelidir (bkz. Şekil 8). Kapı kolu yüksekliği 100–110cm olmalıdır. Kapı gözü yüksekliği 80cm olmalı ve minimum kapı başlangıcından itibaren kapı içine doğru 20cm alan bırakılmalıdır.

2.2 Dinlenme Ortamlarının Engellilere Uygun Düzenlenmesi

2.2.1 Mutfakların Engellilere Uygun Düzenlenmesi

Engellilerin konutlarında geçirdikleri zamanın büyük bölümünü mutfak, salon ve yatak odalarında harcadıkları düşünülebilir. Mutfaklarda özellikle dolapların yapısı ve mutfak içinde varsa yemek yeme bölümü tasarlanırken tekerlekli sandalyenin manevra alanına, dolaplara yaklaşma ölçülerine ve yüksekliklere özen gösterilmelidir. Mutfaklarda yapılan temel eylemler olan yıkama, pişirme vb. eylemlerin daha az manevra ile yapılabilir olarak organize edilmesi gerekir. Mutfaklarda en fazla dolaşım evye ve ocak ve buzdolabı arasında olmaktadır. Mutfaklarda mümkün olduğunca gün ışığından yararlanılmalı ve mekân yönlendiği, dolayısıyla pencerelerin konumlandırılması en fazla gün ışığı alacak şekilde tasarlanmalıdır.

² Çizimler yazar tarafından yeniden düzenlenmiştir.

³ Çizimler yazar tarafından yeniden düzenlenmiştir.



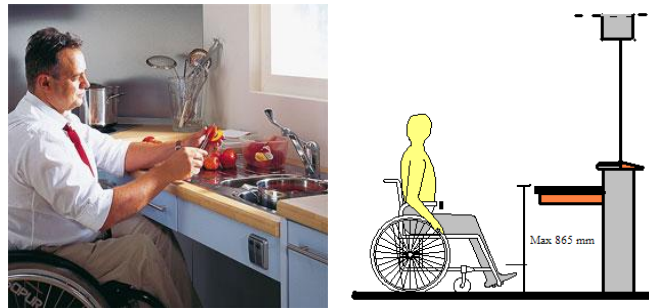
Şekil 9. Çekmeceli Tezgâh Ve Elektrikli Gereçlerin Düzenlenmesi [4]

Elektrikli mutfak gereçleri belirli bir yükseklikte olmalıdır. (Kapağının rahat açılması ve cihazın içinin rahat görünebilmesi için gerekli yükseklik). Ayrıca mutfak dolabının içine konabilecek mekanizmalar ile bu gereçlerin kullanımı oldukça kolaylaştırılabilir (bkz. Şekil 9).

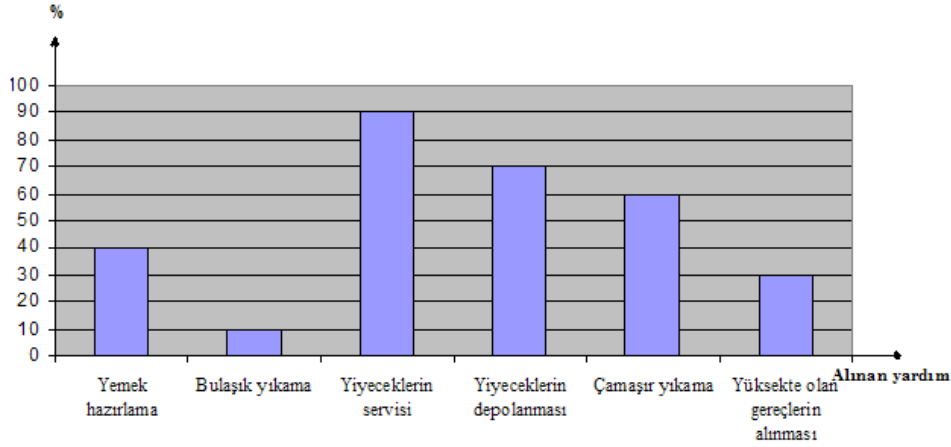


Şekil 10. Tezgâh ve Raflar ile Tezgah Altı ve Hareketli Dolap Rafı Örnekleri [4]

Tezgâh üstü rafların engelliler için uygun duruma getirilmiş olmalıdır (bkz. Şekil 10-11). En çok kullanılan eşyalar en alt raflara gelecek şekilde yerleştirilmelidir. Ayrıca tezgâh altı mutlaka tekerlekli sandalyenin girişine olanak sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Üst dolaplara kurulacak hidrolik bir piston sayesinde raflar hareketli hale getirilerek engellilerin üst dolapları kullanması sağlanabilir (bkz. Şekil 10-11).



Şekil 11. Eveye Konumlandırması [4] ve Kesit Çizimi (Ölçüler mm) [2]

Tablo 1. Fiziksel Engelli Kadınların Yardım aldıkları Faaliyete göre Dağılımı [5]

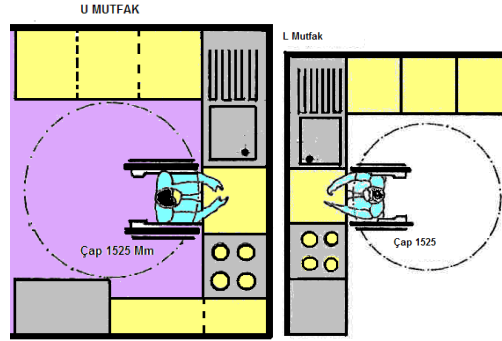
Engellilerin en çok zorlandıkları hareketlerin başında yukarı ve ileri doğru uzanma, aşağıya doğru eğilme ve dönme hareketleri gelmektedir. Tüm bu faktörler engelli bireyler için araç-gereç ve ekipmanların tasarımında yüksekliğin önemli bir faktör haline gelmesine neden olmaktadır.

Odadan odaya eşya götürmeye yardımcı olması açısından yürütülebilen bir el arabası kullanılabilir. Kapı kolu, kulp gibi kavrama ve güç gerektiren hareketlerde zorlanan bireyler için otomatik kontrollü kapı ve pencereler veya daha düşük maliyetli olması açısından mekanik sistemli kapı ve pencereler tasarlanmalıdır[5]. Mutfaklarda elektronik ve mekanik sistemler kullanılarak hareketli dolap ve tezgâh yapılabilir. Dolaplar yukarı veya aşağıya hareket edecek şekilde düzenlenerek, engellinin kullanımı kolaylaştırılabilir.

Protez kol takılmış engelliler en büyük zorluğu tutma ve kavrama gerektiren gereçlerin kullanımında yaşamaktadır. Bu durumdaki engellilerin, özel olarak üretilmiş gereçleri veya yardımcı aparatları kullanmaları gerekmektedir. Koltuk değneği kullanan engelliler için, yüksekliği mutfak tezgâhına uygun tabureler konması ve bunların güç yardımıyla yukarıya kaldırarak taşımak yerine tekerlekli olması düşünülmelidir. Oturma kısmından bir buton yardımıyla tekerleklerin hareketsizliği sağlanarak güvenli hale getirilebilir. Ayrıca yüksekliği ayarlanabilir olması da çalışma tezgâhı ile uyum açısından önemlidir.

Mutfak tezgâhları tasarlanırken tekerlekli sandalyenin girebileceği boşluklar mutlaka bırakılmalıdır. Tekerlekli sandalye tip ve boyutları birbirinden farklı olabildiği için, ayarlanabilir tezgâh yükseklikleri günümüz teknolojisi ile yapılabilen ve klasik tezgâhlara oranla çok daha

kullanışlı olmaktadır. Ancak bu kullanıcıya ek maliyet getirmektedir. Bu uygulamanın yapılamadığı durumlarda tezgâh altına raylı düzlemler monte edilip alternatif çalışma yükseklikleri oluşturulabilir.



Şekil 12. (U) ve (L) Mutfak Yerleşim Planları⁴ (Ölçüler mm) [3]

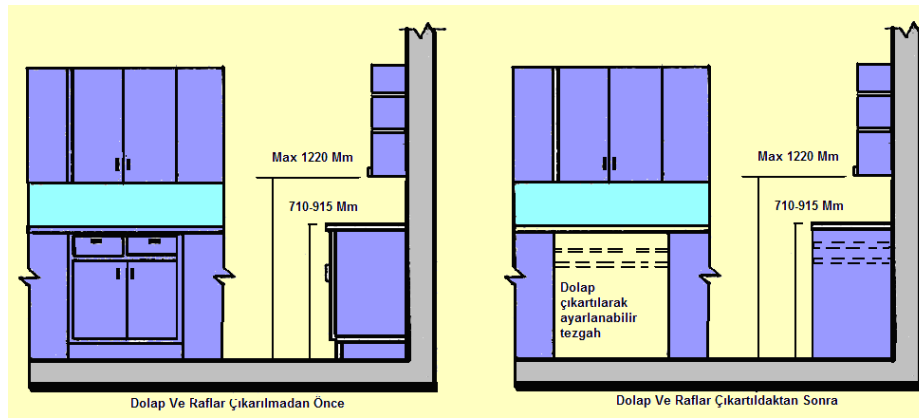
Mutfaklarla ilgili uyulması gereken temel kurallar TS 9111 isimli standartta belirtilmiştir. Bu standarda göre mutfaklar L veya U biçimlerinde yapılabilir. U ve L biçimli mutfaklarda tekerlekli sandalye kullananların manevralarına imkân vermek üzere en az 1525mm x 1525mm boş bir alan bulunmalıdır. Diğer biçimlerde ise bu alanın en az 760mm x 1220mm olması yeterlidir.

Çalışma tezgâhı sabit veya hareketli olarak düşünülebilir. Tezgâh sabit değilse, üst yüzeyi ile döşeme üst yüzeyi arasındaki 710mm - 915mm'lik yükseklikte ayarlanabilir olmalıdır. Tezgâh sabitse tezgâh üst yüzeyi ile döşeme üst yüzeyi aralığı en fazla 865mm olmalıdır. 760mm x 1220mm döşeme alanı olan yerde tekerlekli sandalye kullanan birey tezgâha önden yaklaşabilir. Tezgâh altında keskin veya sivri kısımlar bulunmamalıdır. Tekerlekli sandalye kullananların masada oturmaları ve çalışma tezgâhını kullanmaları için diz yüksekliği en az 685mm, genişlik 760mm, derinlik 485mm olmalıdır. Çalışma yüzeyi ve masalarının üst noktası yerden 710mm - 865mm arasında olmalıdır [3].

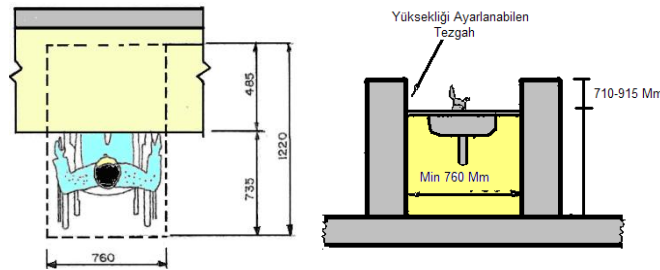
Pişirme grubu olarak adlandırabileceğimiz grupta ocak ve fırınları sayabiliriz. Fırın veya ocakların altında diz boşluğu varsa, buralarda elektrik şokunu ve yanmaları önlemek için temas eden açık yüzeyler korunmalıdır. Fırın ve ocakların kontrol düğmelerine önden yaklaşım sağlanmalıdır (Kontroller fırının ön panelinde yer almalıdır). Mutfak dolapları, mutfakta gerekli

⁴ Çizimler yazar tarafından yeniden düzenlenmiştir.

olan kapların ve gıdaların saklanması için mutlaka gereklidir. Üst dolapların kulpu veya çekmesi mümkün olduğunca dolap kapaklarının alt tarafına yakın olmalıdır. Özellikle üst dolaplarda küçük bir kuvvet uygulandıktan sonra kendiliğinden açılabilen veya kapanabilen pnömatik veya hidrolik pistonlardan faydalanılmalıdır. Alt dolaplar için kulp veya çekme kolu, dolap kapaklarının mümkün olduğunca üst tarafına yakın olmalıdır. Sık kullanılan raflar yerden en fazla 1220mm yükseklikte olmalıdır. Evye ve evye tezgâhı ayarlanabilir veya değiştirilebilir bölümlerden meydana gelmiş ise, bitmiş döşeme ile tezgâh üstü veya evye kenarı aralığı 710mm-915mm arasında değişen yükseklikte olmalıdır [3].



Şekil 13. Raflar ve Dolaplar Çıkarılarak Oluşturulan Boşluklar⁵ (Ölçüler mm [3])



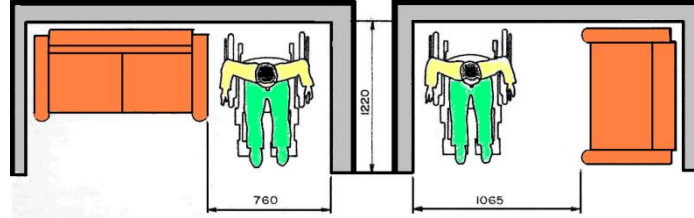
Şekil 14. Çalışma Yüzeyleri ve Tezgâh Boşluğu ile Yüksekliği Ayarlanabilen Evyenin Konumlandırılması⁶ (Ölçüler mm [3])

⁵ Çizimler yazar tarafından yeniden düzenlenmiştir.

⁶ Çizimler yazar tarafından yeniden düzenlenmiştir.

2.2.2 Salonların Engellilere Uygun Düzenlenmesi

Konutun en fazla eylemin yapıldığı (Çalışma, dinlenme, hobi, tv izleme.) bölümlerinden biri olan salonlarda ise yine birinci sırada manevra alanları gelmektedir (bkz. Şekil 15).



Şekil 15. Oturma Odası Geçiş Genişlikleri⁷ (Ölçüler mm) [3]

Tekerlekli sandalye kullanıcılarının, dolaşım ve yeterli manevra alanı gereksinimleri olduğundan, genel amaçlı konutlarda bulunan salonlardan daha geniş alana ihtiyaçları vardır. Ayrıca koltuklara geçişte gerekli çözümler düşünülmeli ve yardımcı aparatlar konulmalıdır. Oturma grubunun yan kısmında geçiş için en az 760mm boşluk bırakılması gereklidir (bkz. Şekil 15). Oturma grubunun ön tarafında bırakılması gereken geçiş boşluğu ise 1065mm olmalıdır. Böylece oturan kişi rahatsız edilmeden gerekli dolaşım sağlanabilir. Koltukların kolçaklarının açılır kapanır olması transferi oldukça kolaylaştıracaktır. Ayrıca gerekli olan yerlerde 180 derece dönüş için yeterli alanlar bırakılmalıdır.

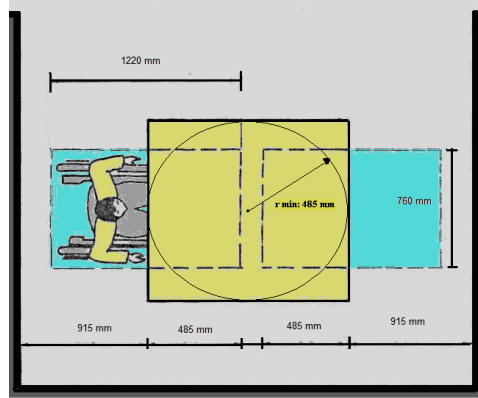
Konutun hiçbir yerinde keskin köşeler bulunmamalıdır. Duvar köşelerine mutlaka kavis verilmelidir. Ellerini kullanmakta güçlük çeken engelliler için acil düğmeleri tek bir düğmeyle çalışan, uzun süre basmak gerekmeyen ve kesinlikle döndürmeli olmayan özellikte düşünülmelidir. Özellikle akıllı telefonlar vasıtası ile uyarı sistemleri kurulabilir.



Şekil 16. T.M.M.O.B. İçmimarlar Odası'nın düzenlediği 'Engelsiz Kişisel Yaşam Alanı ve Mobilya Tasarım Yarışması'nda II. olan PURERoom Ertunç Vatanperver'in tasarımı [9]

⁷ Çizimler yazar tarafından yeniden düzenlenmiştir.

T.M.M.O.B. İçmimarlar Odası'nın düzenlediği 'Engelsiz Kişisel Yaşam Alanı ve Mobilya Tasarım Yarışması'nda II. olan PURERoom'da Engelli kişinin ev içinde katettiği yol çok uzun olamayacağı için sandalyenin aküsü uzun bir süre yetiyor. Kişi yatağında yatıyorsa ve sandalyesi uzaktaysa yine kolundaki aygıt sayesinde uzaktaki sandalyesini yanına getirebilir. Sandalye 120 derece sırt eğimi sağlamasının yanında 15 cm yükseklik ayarı da yapılabilir. Oturma ve yaslanma kısmı terletmeyen ve formunu kaybetmeyen poliüretan destekli keseciklerden oluşur. Odadaki yatak çevresini saracak tekerlekli bir dış düzenek ve gerektiğinde sırt eğimi ayarlanabilir olarak tasarlanmıştır. Çalışma masasının dörtte üçü istenirse parçalanabilir. Engelli yatağında çalışmak isterse parçalara ayrılabilen bu masa yatağa kolaylıkla adapte edilebilir. Dizüstü bilgisayarla çalışmak isteyen engelli parçalanabilen bu masanın üzerindeki prizlerle de elektrik sorununu çözebilir. Odadaki raflar kitaplık olarak kullanılabilirdiği gibi engelli kişiye aynı zamanda destek de sağlamaktadır. Bu tür yarışmalar ve dolayısıyla tasarımlar arttıkça engelli bireylerin yaşam kalitesi de buna paralel artacaktır [9].

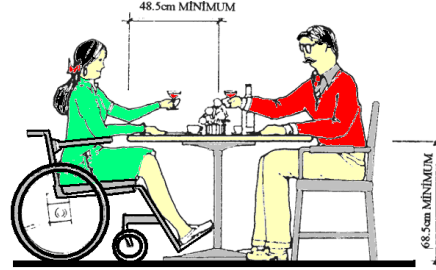


Şekil 17. Yemek Bölümü Tasarımında Dikkate Alınacak Ölçüler⁸ (Ölçüler mm) [3]

Yemek bölümleri mutfak veya salonla beraber olabileceği gibi ayrı olarak düşünülebilir. Konut sahibinin engelli olması durumunda ise yemek bölümünün mutfakla beraber olması tercih edilir. Yemek masasının ölçüleri ve kişi başına gereken boşluk bırakılmalıdır (bkz. Şekil 17). Buna göre bir kişi için yeterli genişlik 76cm'dir. Ayrıca 48cm masa altında boşluk düşünölmeli; iki kişinin karşılıklı yemek yiyeceği yemek masasında minimum genişlik 100cm olmalıdır.

⁸ Çizimler yazar tarafından yeniden düzenlenmiştir.

Yemek masalarında duvar tarafından engellinin masaya yaklaşabilmesi için 915mm boşluk bırakılmalıdır (bkz. Şekil 17).



Şekil 18. Tekerlekli Sandalyeliye Uygun Masa Düzenlemesi (Ölçüler mm) [6]

Yemek masalarında en fonksiyonel olan masa tipi dairesel yemek masalarıdır. Bu masalarda özelliklerde dörtkenar yerine sadece ortada ayak bulunması masaya giriş çıkışları oldukça kolaylaştırır. Dairesel formlu yemek masası için gerekli ölçüler resimde verilmiştir. Buna göre masanın en az yüksekliği 68,5cm yarıçapı ise en az 48,5cm olmalıdır. Masa genişliği için gerekli alan belirlenirken tekerlekli sandalye genişliği ve kaç kişinin aynı anda masayı kullanabileceği düşünülerek çözüm üretilmelidir.

2.2.3 Yatak Odalarının Engellilere Uygun Düzenlenmesi

Tekerlekli sandalye kullanan engellilerin yatak odasını oldukça sık kullanmaktadır. Sürekli aynı pozisyonda oturmaktan dolayı meydana gelebilecek yorulmaları yatarak veya uzanarak dinlenerek atarlar. Yatak odasının her kısmı tekerlekli sandalye kullanıcısı için ulaşılabilir olmalıdır. Planlamada yatak-pencere ve kapı ilişkisine özellikle dikkat edilmelidir. Engel türüne göre yatak özellikleri değişir.

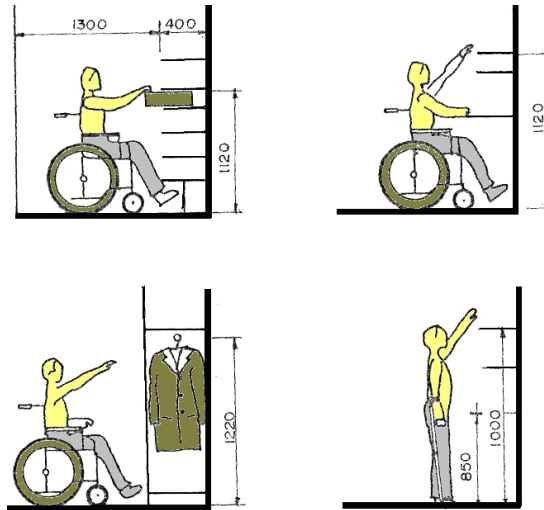


Şekil 19. Yatak Odası Yerleşim Örnekleri⁹ (Ölçüler mm) [3]

⁹ Çizimler yazar tarafından yeniden düzenlenmiştir.

Ortopedik engelliler için yatağın en az bir yanında mümkünse iki - üç yanında uygun boşluklar bırakılmalıdır. Yatağın sadece bir yanında boşluk bırakılacaksa engelli kullanıcının 180 derece dönüşlerde manevra yapabilmesi için bu boşluk en az 1525mm çapında olmalıdır. Aynı oda içerisinde iki yatak konulacaksa odanın iki yanında (yatakların en az bir kenarında) uygun boşluk bırakılmalıdır. Yatak odasında bulunan tüm mobilyaların yerleştirilmesinde tekerlekli sandalyenin geçiş ve manevra alanları bırakılmalıdır. Ve gerekli olan durumlarda transfer için uygun mekanik sistemler kullanılmalıdır. Yatağın konumlandırılmasında güneş ışığının geliş yönü ve pencere önemlidir. Tercihen yatak pencereye paralel konumlandırılır.

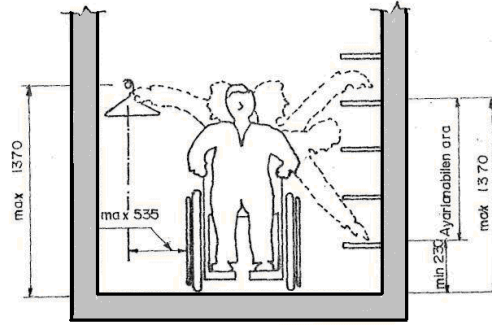
Yatak odasında da diğer kısımlarda olduğu gibi 180 derecelik dönüş için gerekli manevra alanı bırakılması gereklidir. Yatak odaları tek yataklı olabileceği gibi iki veya daha fazla yataklı da olabilir.



Şekil 20. Dolap Kullanım (önden yaklaşım) Yükseklikleri¹⁰ (Ölçüler mm) [3]

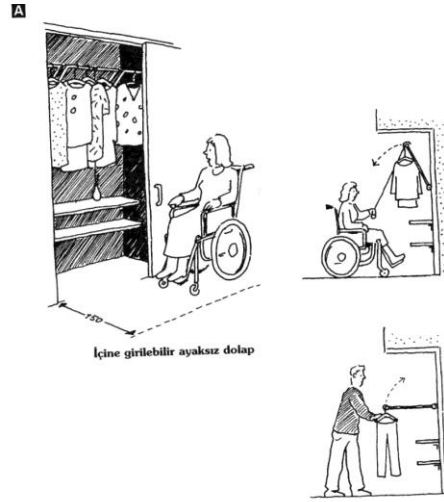
Yatak odasında dikkat edilmesi gereken hususlardan biriside elbise dolaplarının konumu ve tasarımıdır. Elbise dolabına önden yaklaşımlarda en azından ayaklar içeriye girecek şekilde çözümler üretilmelidir. Bunun için en kolay çözüm dolap baza yüksekliğinin düzenlenmesidir. Genel kullanıcılar için tasarlanan dolaplara göre baza daha içeride olmalıdır. Ayrıca elbise dolaplarının kapakları sürme yapılırsa daha kullanışlı olmaktadır. Elbise asılacak yükseklik 1220mm olmalıdır. Daha rahat ulaşılabilir raflar ise 1120mm yüksekliğe kadar olmalıdır.

¹⁰ Çizimler yazar tarafından yeniden düzenlenmiştir.



Şekil 21. Yandan Yaklaşımında Dolap Kullanım Yükseklikleri (Ölçüler mm) [7]

Elbise dolabında veya raflarda yandan yaklaşımlarda minimum raf yüksekliği zeminden 230mm yukarıda olmalıdır. En üst raf yüksekliği rahat ulaşım için 1370mm'den fazla düzenlenmemelidir (bkz. Şekil 21).



Şekil 22. İçine Girilebilir Sürme Kapaklı Dolap ve Elbise Asılan Mekanizma [7]

Şekildeki elbise dolabı içine girilebilir olarak tasarlanmıştır. Bir diğer resimde de elbise asmak için kullanılan bir aparat gösterilmiştir (bkz. Şekil 22). Aksesuar yukarıya kalktığı için engellinin bu yüksekliğe ulaşması mümkün değildir. Bu sebeple yine bir yardımcı aparat kullanarak elbise askılığı engelli kişinin kullanımına uygun duruma getirilebilir.

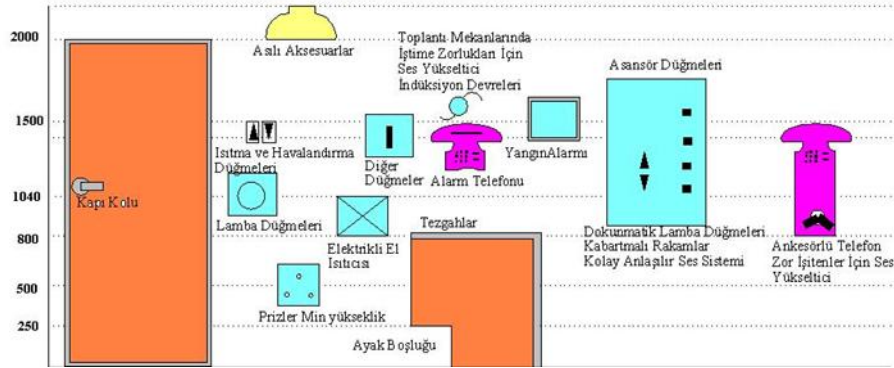
2.3. Çalışma Ortamının Engellilere Uygun Düzenlenmesi

Çalışma ortamı tasarımı hizmet üretilen ortamların tasarımı ve ürün üretilen ortamların tasarımı olarak ikiye ayrılabilir.

2.3.1. Hizmet Üretilen Ortamların Tasarımı

Hizmet üretilen ortamların başında okullar, hastaneler, kamu binalar vb. gibi yerler gelmektedir. Hizmet üretilen yerlerde düzenleme, ulaşımdan başlayarak bina girişleri, merdivenler, asansörler, koridorlar, hacimler arası geçişler, temizlik ortamları, hacim içi hareket olarak sıralanır. Hizmet üretilen alanlarda özellikle sabit ve hareketli donatıların tasarımı ve yerleştirilmesi çok önemlidir. Bu donatıların içerisinde okullarda sıralar, banklar, bilgisayar masaları, kapılar, öğrenci dolapları vb bulunurken ayrıca bunun dışında asansörler, atölyeler, elektriksel donanımların ve çeşitli gereçlerin kontrol düğmelerinin yüksekliklerinin engellilere uygun düzenlenmesi gerekir.

Kontrol düğmeleri engellilerin rahatlıkla ulaşabilecekleri yerlerde ve yükseklikte olmalıdır. Kontrol düğmelerinin olması gerektiği yükseklikler ve bu düğmelerin ne anlama geldikleri şekil ile belirtilmiştir (bkz. Şekil 23).



Şekil 23. Kontrol Düğmeleri Anlamları Ve Yükseklikleri¹¹ (Ölçüler mm) [1]

¹¹ Çizimler yazar tarafından yeniden düzenlenmiştir.

2.3.2. Ürün Üretilen Ortamların Tasarımı

Ürün üretilen ortamların tasarımında ön planda, hareket ve makinelere ulaşım gelmektedir. Hareket kısmı daha önceki konularda anlatılmıştır. Makineler ise üretim sektörünün bu kadar rekabetçi olduğu konumda makinelerin engellilere uygun hale getirilmesi ancak gelişmişlik düzeyi yüksek ülkelerde mümkündür.

Tasarım uygulamaları, engellileri sadece sosyal yaşama değil, mesleki-ekonomik gelişime bağlı olarak üretim yaşamına da dahil edebilir. Omurilik Felçlileri Derneği hizmet birimlerinde yapılan bir çalışma çok güzel bir örnek teşkil etmektedir. Yapılan bu çalışma kapsamında en zor çalışma sahalarından biri olan tekstil sektörü için bir model geliştirilmiş, tekstil makineleri, ayaklarını kullanamayan engelliler için adapte edilmiştir. Bu kapsamda bir el-dirsek aparatı geliştirilerek makineye monte edilmiştir. Üretime geçilmesinin ardından da üretimde kaliteyi geliştirici çalışanların verimini artırıcı ergonomi incelemeleri yapılmıştır. İlk sonuçlar da elde edilmeye başlanmıştır. Bahsi geçen bu çalışmada da görüleceği üzere gerekli adaptasyon ve modifikasyonlar yapıldığı zaman oldukça başarılı sonuçlar elde edilebilmektedir [8].

İş yerlerinde yapılacak düzenlemelerle ortam engellilerinde makineleri kullanmasına uygun hale getirilebilir. Ortam tasarımında engelliler için gerekli manevra alanları mutlaka bırakılmalıdır. Ayrıca bölümler arası geçişlerde, zeminde sürekliliği bozacak kesintilerden kaçınılmalı, eğer mutlaka yapılması gerekiyorsa rampalarla gerekli çözümler sağlanmalıdır.

İşyeri tasarımında özellikle engelliler için uygun temizlik ortamları oluşturulmalıdır. WC, duş ve kıyafet değişimi için oluşturulan bölümlerde hijyen kurallarına dikkat edilmeli ve bu alanlara ulaşımında gerekli düzenlemeler yapılmalıdır. Genel kullanım alanlarında oluşturulan WC ve duşlardan birer tanesi engelliler için düzenlenerek gerekli çözüm sağlanmış olur. Yine işyerlerinde gerek otoparklar gerekse personel girişinde bulunan önlem amaçlı bariyerler, tekerlekli sandalyenin geçişine engel olmayacak şekilde düzenlenmelidir.

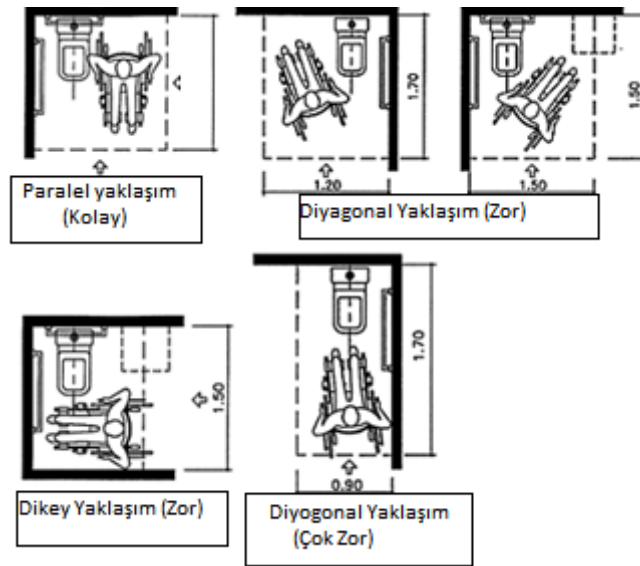
Yemek yeme bölümlerinde de yemeğin dağıtıldığı kısmın yüksekliği engellinin rahatça ulaşabileceği yükseklikte olmalıdır. Bu alanlarda da akülü sandalyeler, el gücüne dayalı hareket eden mekanik sandalyelere göre çok daha avantajlıdır. Yemek masalarında ise yemek yenen bölümde geçişler zor olacağından yemeğin dağıtıldığı kısma yakın yerde ve diğer insanlardan farklı oldukları hissettirilmeden, gerekli sayıda, engelliler için tasarlanmış yemek masası ayrılarak çözümlenebilir.

2.4. Temizlik Ortamlarının Tasarımı

2.4.1. WC'lerin Tasarımı

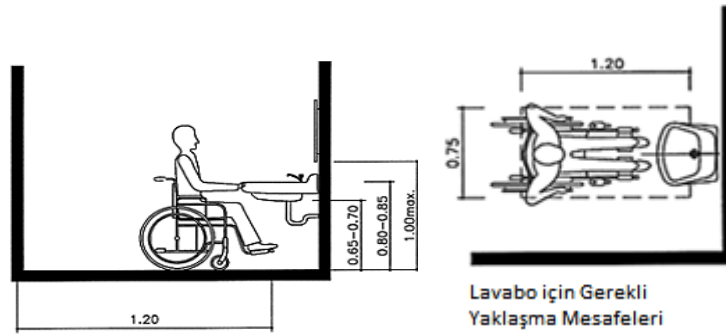
Engelliler için çok dikkatli ve titiz çalışarak tasarlanması gereken bölümdür. Konut içi genel kullanım alanlarından daha fazla yararlanabilmek için WC'ler küçük bırakılır. Ancak WC'ler engelliler için mutlaka özel tasarlanmalıdır. Bu tasarımlarda kapı genişlikleri 81,5cm den az olmamalıdır.

WC için bırakılan alanda dikkat edilmesi gereken en önemli unsur engelli bireyin içeriye girdiğinde kapıyı kapatacak kadar boşluk bulunmalıdır. Odadan veya koridordan WC'ye girişte kesinlikle eşik vb yükselti bulunmamalıdır. Lavabo olarak kullanılacak kısım dolaplı yapılırsa mutlaka tekerlekli sandalyenin girebileceği kadar alan boş bırakılmalıdır. Lavabolarda yüksekliğe ve bataryanın konulacağı yere dikkat edilmelidir. Ayrıca WC'lerde hareket alanları ve özel aparatların konumlarına dikkat edilmelidir. Islak hacimlerde özellikle dar hacimli olanlarda, hem yerden tasarruf hem de güvenlik açısından kapılar dışarı açılmalıdır. Ulaşılabilir bir hacimde 180 derece dönüş için 150cm çapında bir manevra alanı bırakılmalıdır. Tekerlekli sandalye kullanıcılar için mutlaka klozet kullanılmalıdır. Klozetler belirtilen şartları taşımak kaydıyla duvara monteli veya yere monteli olabilir. Klozet etrafında bırakılacak manevra alanı ve transfer boşluğu kullanıcının hangi elini kullandığı ile bağıntılıdır.



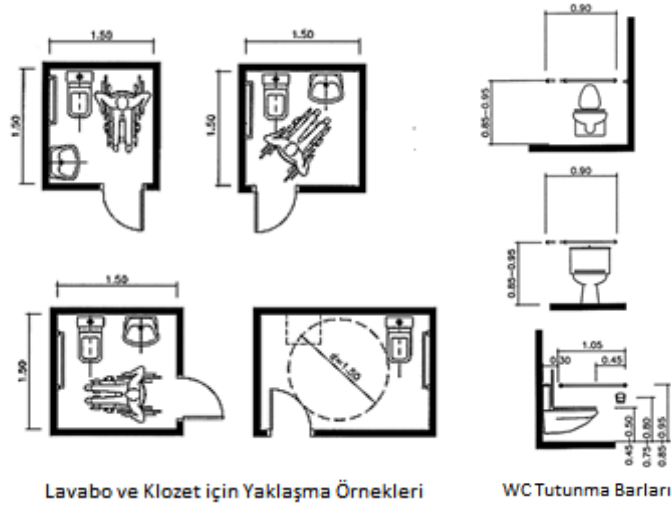
Şekil 24. WC'lerde Farklı Düzenlemeler ve Karşılaşılabilecek Zorluklar (Ölçüler mm) [9]

Tekerlekli sandalye kullanan engelliler bir yere uzanmak için sıklıkla destek alabilecekleri bir yere ihtiyaç duyarlar. Bu sebeple lavaboların, tezgâhların ve dolapların sağlamlığı ayrı bir önem taşımaktadır. Ellerini kullanamayan tekerlekli sandalyeli engellilerde ise otomatik klozetlerin kullanılması tavsiye edilir. Ayrıca kapıların otomatik açılması veya çok düşük kuvvetle kolay açılabilir olması gereklidir. Tekerlekli sandalye ve yürüme aracı kullanıcıları için klozetin çevresine kaymayı, düşmeyi engellemek ve transfer için mutlaka tutunma bantları konulmalıdır. Bu bantlar kişiye özel ayarlanmalıdır. Ancak genel kullanımlarda döşemeye paralel veya dik olmalıdır [3].



Şekil 25. Lavabolar İçin Gerekli Ölçüler (m) [9]

Engellilerin WC ve banyoda geçirdikleri zaman diğer bireylere göre daha fazla olması nedeni ile WC ve banyo iki ayrı bölüm olarak tasarlanmalıdır. Tuvalet bölmesinin derinliği en az 1420mm olmalıdır. Derinlik en az 1575mm olduğunda duvara monteli klozet kullanılabilir. Bu derinlik en az 75mm artırıldığında yere monteli klozet kullanılabilir. Tuvaletler sağ ve sol el kullanımına uygun olarak düzenlenmelidir. Tuvalet bölmelerinde ön kısımda veya en azından bir tarafta yerden en az 230mm olan ayak koyma yeri yüksekliği bulunmalıdır.



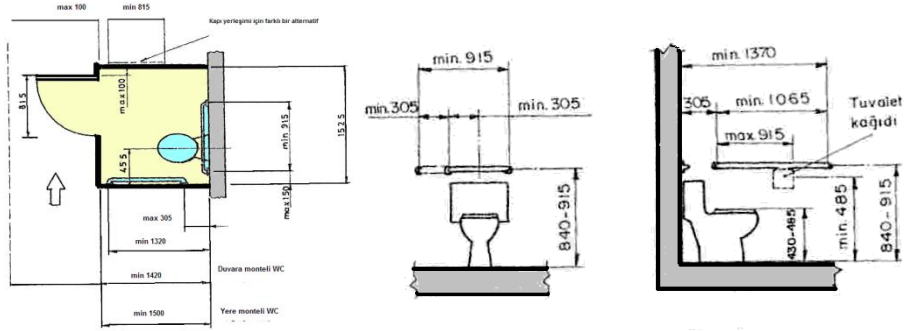
Şekil 26. WC'lere Farklı Giriş Tipleri ve Klozetlerde Uyulması Gereken Ölçüler (m) [9]

Koridorla tuvalet arasında zeminde sürekliliği kesen yükseltilerden kaçınılmalıdır. WC kapıları da oda kapıları gibi düşünülmeli ve asla daha dar yapılmamalıdır. Kapılar dışa açılmalı ve tehlike durumunda dışarıdan da açılabilmelidir. Tutunma bantları döşemeye paralel veya gerektiğinde düşey olarak düzenlenebilir. Tutunma bantları mekan içindeki hareketlere engel olmamalıdır. Tutunma bantlarının genişlik veya çapı 32mm - 38mm olmalıdır. Tutunma bantları duvara monte edilmişse, duvarla arasında 38mm aralık bulunmalıdır [3].

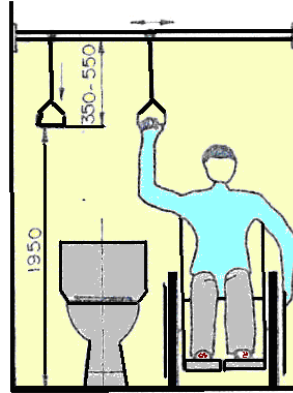
Klozet duvara veya yere monteli olmasında sakınca yoktur. Klozet oturma yüksekliği yerden 430mm - 485mm arasında olmalıdır. Oturma yüksekliğinin ayarlanabilir olması tercih edilir. Klozet, oturma kalkma pozisyonundan dönmeye engel olmamalıdır. Taharet muslukları el ile kumandalı veya otomatik olabilir. Musluk, tuvalet bölmesinin geniş tarafında olacak şekilde monte edilmelidir. Sifon kolu yerden en fazla 1120mm yükseklikte olmalıdır.

Bideler yerden en çok 430 mm yüksekliğinde ve duvara asılı olmalıdır. Net genişliği 760mm'den daha küçük olan bide kişisel bölmelerinde, bölme en fazla bide kenarının ön kısmına kadar uzanmalıdır. Lavabonun ön kısmının altından döşemeye olan düşey ölçü (Tekerlekli sandalyenin girebilmesi için) en az 735mm olmalıdır. Önden yaklaşım için lavabo önünde 760mm x 1220mm'lik net döşeme alanı bulunmalıdır. Tekerlekli sandalyeyi kullanan kişi klozette oturduğunda lavaboyu kullanabilmelidir. Musluğun 10 saniye açık kalabilmesi durumunda fotoselli musluklar kullanılabilir. Lavabo altında tesisat sistemleri korunmalıdır. Ayrıca Lavabo

altında keskin veya çıkıntılı kısımlar bulunmamalıdır [3]. Tuvalette ayna konulacaksa aynaların en az 1015mm ile en fazla 1880mm aralığında olmalıdır. Aşağı yukarı hareket ettirilebilen aynalar tercih edilmeli aynaların sabit olması durumunda ise öne doğru 10° - 15° eğik olmalıdır.



Şekil 27. Tuvalet Bölmesi¹² ve Klozet İçin Gerekli Ölçüler (Ölçüler mm) [3]



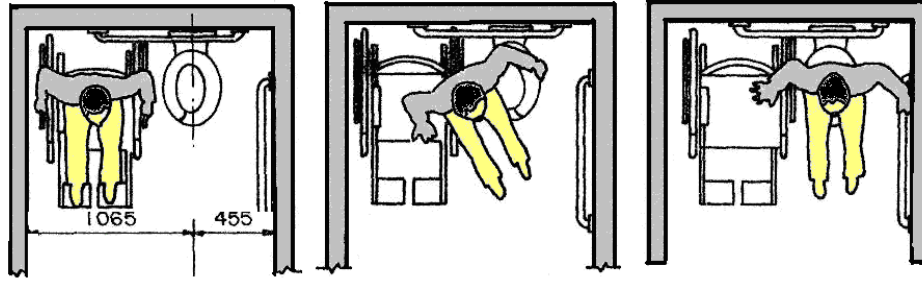
Şekil 28. Klozet, Tutunma Bantları, Kâğıtlık¹³ (Ölçüler mm) [3]

Ellerini kullanabilen bireyler için ipli sifon kullanılacaksa standartlara uyulmalıdır. (bkz. Şekil 28) belirtilen ölçülere uyulmalıdır.

Ancak ellerini kullanamayan engelliler için ipli sifon yerine elektronik algılayıcı sifonlar tercih edilmelidir.

¹² Çizimler yazar tarafından yeniden düzenlenmiştir.

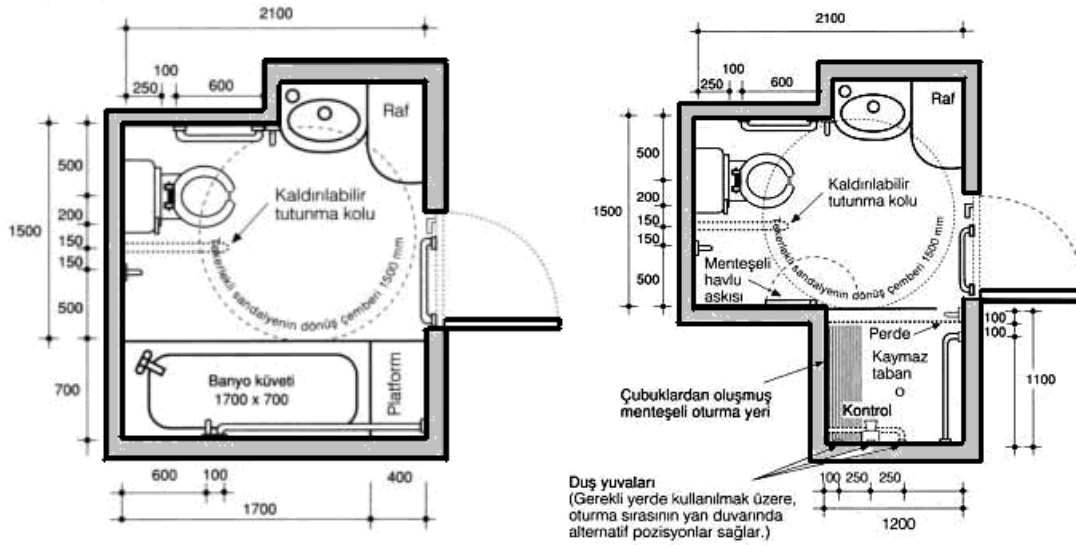
¹³ Çizimler yazar tarafından yeniden düzenlenmiştir.



Şekil 29. Düz Yaklaşımda Transfer¹⁴ [3]

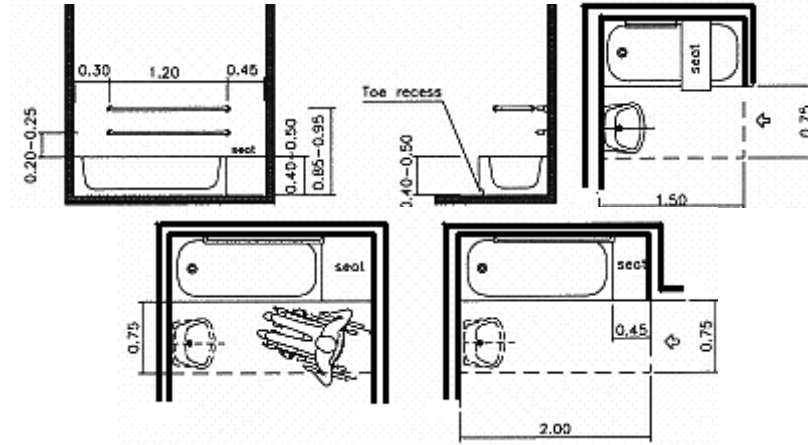
2.4.2. Banyoların Tasarımı

Banyo ile diğer mekânlar arasındaki bağlantıda zeminde kot farklarından kaçınılmalıdır. Engelliler için banyo düzenlemesinde en önemli konulardan biri mahremiyettir. Engelli bireyin tek başına klozet veya duş teknesine yaklaşabilmesi ve kendi ihtiyaçlarının giderebilmesi için tüm düzenlemeler yapılmalıdır. Banyolara, engellilerin rahat kullanabilmesi için farklı aparatlar (acil düğmeleri, oturma sandalyeleri, tutamaklar ve telefon) teçhiz edilmelidir. Tutamakların yerleri belirlenirken erişebilme ve kavrama ölçüleri mutlaka dikkate alınmalıdır.

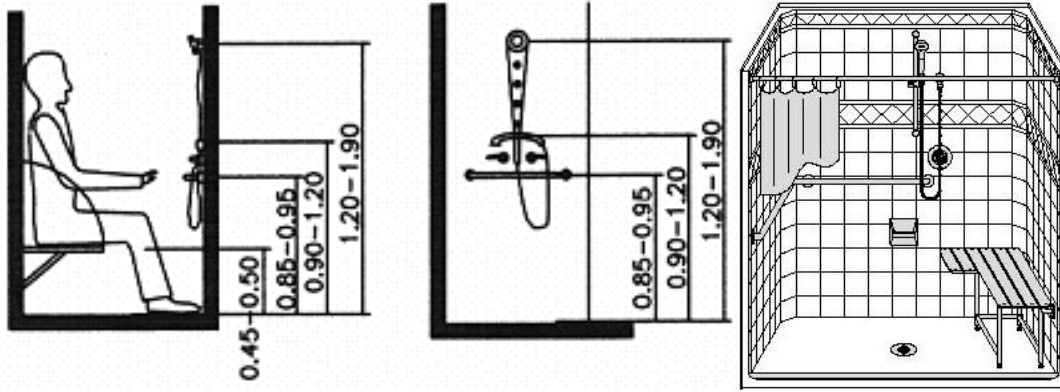


Şekil 30. Engelliler için WC-Banyonun Bir Arada Olması Durumunda Gerekli Alanlar (Ölçüler mm) [1]

¹⁴ Çizimler yazar tarafından yeniden düzenlenmiştir.



Şekil 31. Engelliler İçin Küvet Ölçüleri (m) [9]



Şekil 32. Duş Taburesi Kullanıldığında Gerekli Ölçüler (m) - Banyo Örneği [9]

Banyo, tekerlekli sandalye girebilecek ve hareket edebilecek şekilde planlanmalıdır. Zemin kaygan olmamalıdır. Küvet tercih edilecekse 1600mm veya 1700mm uzunluktaki küvetler tercih edilmeli ve yerden yüksekliği en fazla 550 mm olmalıdır. Küvet tabanı düz olmalıdır. El ile veya sabit olarak kullanılan duşun baş süzgecinin en az 1525mm uzunluğunda hortumu olmalıdır. Düşey bir çubuk üzerine yerleştirilmiş yüksekliği ayarlanabilir duş kullanıldığında, düşey çubuk tutunma bantlarının kullanımına engel olmayacak şekilde yerleştirilmelidir. Oturak kullanılacak ise emniyetli yerleştirilmeli ve kullanımı sırasında kaymamalıdır. Küvet kenarı, tekerlekli sandalyeden küvet içine girmeye küvet üzerindeki oturağa oturmaya ve kontrollere engel olmamalıdır. Duş teknesi döşemesi çok az eğimli yapılmalıdır. 915mm x 915mm duş bölmesi,

tutunma bantlarına ve duvarlara kolayca erişilebileceğinden ve oturulduğunda duvar destek olarak kullanılabilen denge zorluğu olanlar için daha kullanışlıdır. Yerden en fazla 220mm yükseklikteki bütün kontroller oturağın karşı duvarına yerleştirilmiş olmalıdır. 915mm x 915mm boyutlarındaki bir duş bölmesinde bütün kontroller oturağın karşı yan duvarında olmalıdır [3].

915mm x 915mm ebatlarındaki duş bölmesinde koruma bordürü düşünülmüşse, bordür en fazla 100mm yükseklikte olmalıdır. 760mm x 1525mm boyutlarındaki duş bölmesinde, koruma bordürüne gerek yoktur. Duş bölmesi kenarı, tekerlekli sandalyeden duş oturağına geçmeye veya kontrolleri kullanmaya engel olmamalıdır [3].

3. Sonuç

Engelliler için iç mekânların düzenlenmesindeki temel amaç bireyin yaşam konforunu dolayısıyla yaşam kalitesini arttırmaktır. Bu konuda Birleşmiş Milletler sözleşmesinde yer alan makul düzenleme, ayrımcılığa karşı olmak ve evrensel tasarım konut iç mekânları için de önemlidir. “Makul düzenleme”, engellilerin insan haklarını ve temel özgürlüklerini tam ve diğer bireylerle eşit şekilde kullanmasını veya bunlardan yararlanmasını sağlamak üzere belirli bir durumda ihtiyaç duyulan, ölçüsüz veya aşırı bir yük getirmeyen, gerekli, uygun değişiklik ve düzenlemeleri ifade eder. “Evrensel tasarım” ya da başka bir ifade ile “Herkes için tasarım” ürünlerin, çevrenin, programların ve hizmetlerin özel bir ek tasarıma veya düzenlemeye gerek duyulmaksızın, mümkün olduğunca herkes tarafından kullanılabilir şekilde tasarlanmasıdır. Evrensel tasarımın yedi ilkesindeki temel amaç bir ürünün veya hizmetin toplumun farklı kesimleri tarafından kolayca kullanılabilmesidir.

Birleşmiş Milletler sözleşmesinde tanımlar kısmında bahsedilen ayrımcılığa karşı olmak, makul düzenleme ve evrensel tasarım ilkeleri birçok engel durumuna göre ortak düşünülebilecek prensiplerdir. Farklı bir perspektiften bakıldığında “Engellilerin Haklarına İlişkin Sözleşme” deki bu üç temel madde birbirinden farklı maddeler değil birbirini tamamlayan maddelerdir. Örneğin engelli bireylere özel giriş kapısı tasarlamak yerine tüm kullanıcıların problem yaşamadan kullanabileceği giriş kapısı tasarlamak, gerek ayrımcılıkla mücadele gerek makul düzenleme gerekse de evrensel tasarım ilkelerine uyum sağlamaktadır. Rampalar imar izni veya oturma izni

almak için yapılan bir düzenleme olmaktan çıkıp gerçek fonksiyonunu karşılayacak şekilde yapılmalıdır. İç mekân düzenlemelerinde kullanıcıya aşırı yük getirilmeden yapılacak tasarımlar sayesinde engelli bireylerin bir başkasının yardımına ihtiyaç duymadan hayatlarına devam etme olanağı verecektir. Ayrıca tüm insanlar için olmazsa olmaz bir ihtiyaç olan “İnsan Onuru” ve “Kişisel Mahremiyet” açısından da bu düzenlemeler lüks değil zorunluluktur.

Türkiye’de engellilerin hayatını kolaylaştırmada ve Birleşmiş Milletler sözleşmesindeki prensipleri karşılamadaki asıl problem yasal mevzuatlar değil, eğitimsizlik, farkındalık yaratamama ve denetimsizliktir. Buna ilaveten engelliler için yapılacak düzenlemelerin, mimari projede uyulması gereken bir prosedür olarak algılanmasının önüne geçilebilmesidir. Bu durum kısa vadede denetimle uzun vadede ise eğitimle çözülebilecek bir problemdir

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.izmimod.org.tr/yasa/engelli.html#hakkinda#hakkinda>, Ulaşılabilirlik Kılavuzu, “Mimari Projelerde Engelli ve Yaşlılarla İlgili Olarak Uyulması Gereken Temel Kurallar”, 2017
- [2] MÜLAYİM, A., Arşiv Fotoğrafları, Yayınlanmamış, 2007
- [3] TS 9111 “Engelli İnsanların İkamet Edeceği Binaların Düzenlenmesi Kuralları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1991
- [4] “Engelliler için mutfak Tasarımları”, <http://www.kbsa.org.uk/inspiration/kitchen/accessible-kitchens/>, 2016
- [5] HAZEL, O. GÜL, A. “Fiziksel Özürlü Bulunan Kadınların Konut Mutfaklarında Karşılaştıkları Sorunlar”, Özveri Dergisi, 9.Sayı Cilt 5, Sayı 1, 2008
- [6] ARTAR, Y. ve KARABACAKOĞLU, Ç., “Engellilerin Toplumsal Gelişimine Yönelik Proje Ortez ve Tekerlekli Sandalyenin Üretimi, Standartları ve Pazar Potansiyeli”, Milli Produktivite Merkezi, Ankara, Aralık 2003
- [7] ATALA, E., “Çevre Tasarımı ve Normların Bedensel Engelliler Açısından Değerlendirilmesi Üzerine Teorik Bir Yaklaşım”, Hacettepe Üniversitesi, Sanatta Yeterlilik Eseri Raporu, Ankara, 1996
- [8] BAŞ, R., “Özürlüler Ve Toplumsal Yaşama Adaptasyon”, TMMOB II. İletim Teknolojileri Kongresi, 2005
- [9] <http://www.access-board.gov>, “Americans With Disabilities Act” (ADA), 2017
- [10] Terzi, Ş., “Engelsiz Kişisel Yaşam Alanı (oda) ve Mobilya Tasarım Yarışması 2.si Ertunç Vatanperver PUREroom tasarımı”, <http://www.hurriyet.com.tr/engelliler-icin-engelsiz-mobilyalar-tasarladi-4789513>, 2017
- [11] AKÖZ, E., “Engelli Kişilere Uyarlanmış Yapı”, OFD Omurilik Felçliler Derneği, 1. Baskı, 2001
- [12] ALTIPARMAK, R. S., “Ülkemiz İnsan Antropometrisine Uygun Mutfak Mobilyası Tasarımı İçin Veri Bankasının Oluşturulması ve Bir Uygulama”, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006
- [13] ANDAÇ, G., “Ulaşılabilirlikte Boyutsal Kriterler”, Yapı Dünyası, Ankara, 1997
- [14] GÜL, A. ve GÜVEN, S., “Konut Islak Mekanlarının Fiziksel Engelli Bireyler İçin

(Tekerlekli Sandalye Kullanan Bireyler) Düzenlenmesi”, I. Uluslararası Bakım Kongresi., İstanbul, 2005

[15] HAZEL, O., “Evde Kullanılan Araç-Gereç ve Ekipmanlar: Engelliler İçin Ergonomik Bir Yaklaşım”, Türkiye Sakatlar Derneği, 2009,

[16] Mülayim. A., ve Özşahin. B., “Bedensel Engellilerin Konaklama Sorunları ve Çözüm Önerileri Üzerine Bir İnceleme” ÖZ-VERİ Dergisi Başbakanlık Engelliler İdaresi Başkanlığı, hakemli süreli yayın, yıl 2010-cilt:7-sayı:2

[17] Mülayim. A., “Tekerlekli Sandalye Kullanan Engelliler İçin Ulaşılabilirlik Ve Sınırların Kaldırılması”, “SINIRLA-MA” 9.Uluslararası Sinan Sempozyumu, Edirne, Nisan 2015

[18] TS 12576 “Şehir İçi Yollar-Engelli ve Yaşlılar İçin Sokak, Cadde, Meydan ve Yollarda Yapısal Önlemler ve İşaretlemelerin Tasarım Kuralları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1999

[19] TS 8357 “Halka veya Müşterilere Açık Tuvaletler (WC’ler) Sınıflandırma ve Genel Kurallar”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1999

[20] ÖZİ, Ülke Raporu Çalışma Grubu, “Engelliler İçin Ülke Raporu”, Başbakanlık Engelliler İdaresi Başkanlığı Yayınları, Başbakanlık Basım Evi, Ankara, 2001

[21] ÖZİ VE DİE, “Türkiye Engelliler Araştırması”, Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü Başkanlığı- Başbakanlık Engelliler İdaresi Başkanlığı, Devlet İstatistik Enstitüsü Matbaası, Ankara, 2004

KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ
KIRKLARELİ UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisinde fen ve mühendislik alanında özgün araştırma makaleleri, derlemeler, kısa makaleler, teknik not, vaka takdimleri, kitap eleştirileri ve bilimsel nitelikli editöre mektuplar yayınlanır. Dergi Aralık ve Haziran aylarında olmak üzere yılda iki kez yayınlanır. Yayınlanmak üzere gönderilen eserlerin başka bir yerde yayınlanmamış veya yayınlanmak üzere gönderilmemiş olması gerekmektedir. Derginin yayın dili Türkçe ve İngilizcedir. Dergide yayınlanacak eserlerin her türlü sorumluluğu yazar/larına aittir. Makaleler, <http://dergipark.ulakbim.gov.tr> adresine gönderilmelidir. Makalenin hakem incelemesi için kabul edilmesi durumunda, Telif Hakkı Devir Formu tüm yazarlarca imzalanarak editörlüğe gönderilmelidir. Dergiye gönderilen makaleler, öncelikle Dergi Yayın Kurulu tarafından bilimsel içerik ve şekil bakımından ön incelemeye tabii tutulur. Dergi Yayın Kurulu, yayınlanabilecek nitelikte bulmadığı veya yazım kurallarına uygun hazırlanmayan makaleleri hakemlere göndermeden red kararı verme hakkına sahiptir. Değerlendirmeye alınabilecek olan makaleler, incelenmek üzere iki ayrı hakeme gönderir. Dergi Yayın Kurulu, hakem raporlarını dikkate alarak makalelerin yayınlanmak üzere kabul edilip edilmemesine karar verir.

Yazım Kuralları / Instructions

1. Yazı tümüyle (metin, tablolar, denklemler, çizimler) bilgisayarda düzenlenmeli ve baskıya hazır biçimde teslim edilmelidir. Yazı, A4 (210 x 297 mm) boyutlu kâğıda, Word ortamında, 12 punto (ana başlık 14 punto) Times New Roman font kullanılarak, bir buçuk aralıkla ve her iki yana yaslı olarak yazılmalı, kâğıdın tüm kenarlarından 25 mm boşluk bırakılmalıdır.
2. Çizimler ve tablolarla birlikte, makaleler 25 sayfadan, teknik notlar 6 sayfadan daha uzun olmamalıdır.
3. Yazı, elektronik ortamda (CD veya e-posta eki) dergi e-posta adresine veya dergi yazışma adresine gönderilmelidir.
4. Metin yalın bir dil ve anlatımla yazılmalı, Türkçe yazım kurallarına uygun olmalı, üçüncü tekil şahıs ve edilgen fiiller kullanılmalı, devrik cümleler içermemelidir.
5. Bölümler (i) özet ve anahtar kelimeler, (ii) abstract and keywords (İngilizce başlık, özet ve anahtar kelimeler), (iii) ana metin (giriş, materyal ve metod, sonuçlar vb.), (iv) semboller, (v) teşekkür (gerekliyse) ve (vi) kaynaklar sırası içinde düzenlenmelidir.
6. Başlık kısa ve açık olmalı, içeriği yansıtabilmelidir. Başlık büyük harfle ortalanarak yazılmalıdır.
7. Yazar/ların adları kısaltmasız, başlığın altına yan yana, soyadlar büyük harfle ortalanarak 11 punto boyutunda yazılmalıdır. Yazar isimlerinden sonra virgül ve adres belirtmek için üst simge olarak rakam kullanılmalıdır. Yazışmaların yapılacağı sorumlu yazar isminde mutlaka üst simge yıldız (*) sembolü olmalıdır. Adres/ler tam yazılmalı, kısaltma yapılmamalıdır. Sorumlu yazarın e-mail adresi dipnot olarak bulunmalıdır. Yazar adları yazılırken herhangi bir akademik unvan belirtilmemelidir.
8. Özet (ve Abstract) çalışmanın amacını, kapsamını, yöntemini ve ulaşılan sonuçları kısaca tanımlamalı ve 200 kelimeyi aşmamalıdır. En az üç tane anahtar kelime verilmelidir. Anahtar kelimeler, zorunlu olmadıkça başlıktakilerin tekrarı olmamalıdır. Başlık, Özet ve İngilizce başlıklı Abstract birinci sayfaya sığdırılmalı, birinci sayfanın altında on satır boş bırakılmalı ve ana metin ikinci sayfadan başlatılmalıdır.
9. Bölüm ve alt bölüm başlıkları numaralanmalıdır (TS1212).
10. Semboller uluslararası kullanıma uygun seçilmeli; her bir sembol ve varsa kısaltmalar ilk kullanıldığı yerde tanımlanmalı, ayrıca metnin sonunda (Kaynaklardan önce) tüm semboller alfabetik sıra ile (önce Latin, sonra Yunan alfabesi) listelenmelidir.
11. Matematiksel ifadeler (denklemler) Word ortamında "Equation Editör" kullanılarak yazılmalıdır. Metin içerisinde geçen denklemler numaralanmalı ve bu numaralar satır sonunda parantez içinde gösterilmelidir.

12. Tablo dışında kalan fotoğraf, resim, çizim ve grafik gibi gösterimler “Şekil” olarak verilmelidir. Resim, şekil ve grafikler net ve ofset baskı tekniğine uygun olmalıdır. Her tablo ve şeklin metin içindeki yeri belirtilmelidir. Tüm tablo ve şekiller makale boyunca sırasıyla numaralandırılmalı (Tablo 1., Tablo 2., Şekil 1., Şekil 2. gibi) başlık ve açıklama içermelidir. Grafik ve şekiller basılı sayfa boyutları dikkate alınarak çizilmelidir. Şekillerin sıra numaraları ve başlıkları şeklin altına, tabloların ki ise tablonun üstüne yazılmalıdır.

13. Yazılarda yalnızca SI birimleri kullanılmalıdır.

14. Teşekkür olabildiğince kısa olmalı, çalışmaya katkısı ve desteği bulunan kişi ve kuruluşlar belirtilmelidir.

15. Dergimize yayınlanmak üzere gönderilen makaleler benzerlik kontrol programı ile kontrol edilecektir. Benzerlik raporu ilgili yayın danışma kurulu üyesine kontrol etmesi için gönderilecektir. Benzerlik raporu sonucu yüksek çıkan makaleler için yazardan düzenleme talep edilir.

16. Kaynaklar metinde köşeli parantez ([]) içinde numaralanmalı ve kaynaklar listesinde metin içinde veriliş sırasına uygun biçimde belirtilmelidir. Yayınlanmamış bilgiler kaynak olarak verilmemelidir. Ancak tamamlanmış ve jüriden geçmiş tezler ve DOI numarası olan makaleler kaynak olarak verilebilir.

Kaynaklarda şu bilgiler verilmelidir:

Kaynak makale ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, makalenin tam başlığı, derginin adı, cilt, sayı, başlama ve bitiş sayfaları, basıldığı yıl.

Örnek: [1] Naghdi, P. M., Kalnins, A., On Vibrations of Elastic Spherical Shells. J. Appl. Mech., C 29, S 65-72, 1962.

Kaynak kitap ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, kitabın adı, cilt numarası, varsa editörü, yayınlandığı yer, yayınlandığı yıl.

Örnek: [2] Kraus. H., Thin Elastic Shells, New York. Wiley, 1967.

Kaynak bildiri ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, bildirinin adı, konferansın adı, yapıldığı yer, başlama ve bitiş sayfaları, yıl.

Örnek: [3] Cappleman. O., Communication in the Studio, FIDE'98 International Conference on First Year Architectural Design Education Proceedings, Faculty of Architecture İstanbul Technical University, Cilt V, S 48-54, 1998

Kaynak tez ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, tezin adı, derecesi, sunulduğu kurum, başlama ve bitiş sayfaları, yıl.

Örnek: [4] Özşahin. B., Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Duvarlı Binaların Yapımsal ve Ekonomik Uygulanabilirliği, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, S 5-9, 2011

Kaynak rapor ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, raporun adı, türü, numarası, kuruluşun adı, yayınlandığı yer, yıl.

Örnek: [5] Makarewicz. J.C., Lewis. T., Bertram. P., Epilimnetic Phytoplankton and Zooplankton Biomass and Species Composition in Lake Michigan, 1983-1982, IL EPA 905-R-95-009, U.S EPA Great Lakes Natioanl Program, Chicago, 1995

Kaynak internet ise: Eğer bir bilgi herhangi bir internet sayfasından alınmış ise (internetten alınan ve dergilerde yayınlanan çalışmalar hariç)

Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, çalışmanın adı, internet sitesinin adı ve adresi, internet sitesine erişim tarihi

Örnek: [6] Pieper. C. M., Introduction to Activity Based Costing, ATechnical Bulletin From ABC Technologies, www.abctech.com 1998, Erişim tarihi: 12.10.2014

KIRKLARELİ UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Kirklareli University Journal of Engineering and Science welcome materials for publications as original research papers, short communications, technical notes, case reports, book/software reviews and scientific letter to editors. Kirklareli University Journal of Engineering and Science is published two issues per year in June and December. Manuscripts submitted to the journal are only accepted if they have not been or will not be published and should not be under review elsewhere. Manuscript's language is English and Turkish. All responsibility of the studies belongs to the authors. Studies should be prepared in accordance with international scientific ethics rules. Studies must be sent to <http://dergipark.ulakbim.gov.tr>.

For the studies accepted for publication in our journal, copyright transfer form signed must be sent to the journal editorial. Papers are firstly checked for their suitability for technical and journal's style. The manuscripts that do not suit journal's standards or not suitable correspond to the scope journal are refused with unexplained reason. Manuscripts that are found suitable for peer review will be assigned to two expert reviewers. The final decision to accept or reject a manuscript will be made by the Editorial Boards. After review process, the Editorial Boards will inform the authors of acceptance, rejection or necessity of revision of the manuscript.

Instructions / Yazım Kuralları

1. Text (tables, equations, figures, pictures etc.) should be prepared using Microsoft Word Processor with Times New Roman font and 12 point (The title 14 point) size. Manuscripts should be written with 1,5 line spacing on A4 (210 x 297 mm) sized typing paper with 25 mm all margins.
2. The maximum number of pages for original research papers (including tables, figures and references) should be 25 and for the technical notes should be 6 respectively.
3. Paper should be sent online by the journal web site or should be posted CD by journal correspondence address.
4. Text should be written in plain language and narrative, it should be free from any spelling or grammatical errors and the third person singular passive verb should be used.
5. The parts should be in order to (i) Turkish abstract and key words, (ii) English abstract and key words, (iii) main text (Introduction, Material and Methods, Results, Discussions etc.), (iv) symbols, (v) acknowledgements and (vi) references.
6. The title suitable for the content should be clear, as short as possible and centered on the page with the capital letters.
7. All Authors full names should be written as lower case 11 font size in the middle and surname of the authors should be written capital letters. After authors name and surnames, authors' addresses should be stated with superscript numbers (e.g. 1, 2, 3). Corresponding author's full name should be marked with an asterisk (*). All authors' addresses must be typed with lower case 11 font in the center. The corresponding author's contact address and e-mail address should be given. Names of institutions and cities each authors also must be stated. Authors' name and surname should not indicated any academic title.
8. A brief, informative English and Turkish abstract, not exceeding 200 words, should be typed in 12 font size. Immediately following the abstract, authors should provide at least 3 English and Turkish keywords or phrases that reflect content of the article. The key words should not repeat of the title as possible.
9. Section and sub-section title should be numbered (TS1212).
10. In general, the recommendations of the SI units should be followed. Symbols, formulas and equations should be written with great care, capitals and lower case letters being distinguished where necessary. Unusual symbols employed for the first time should be defined by name in the left-hand margin. Abbreviations require definition when first used.

11. Mathematical expressions should be written by an equation editor (Word format). Each equation in text should be numbered and numbers should be shown in parentheses at the end of the line.
12. The drawings, photos and graphs except the tables should be given as "Figure" in manuscript. Electronically submitted figures and graphs are preferred *.jpg or *.tiff formats. Do not give magnification on scales in the figure titles; instead draw bar scales directly on the figures. All the tables and figures must be referred in the text. The numbers and headings of figures must be written below the figure. The numbers and headings of tables should be written the top of the table.
13. SI (System International d'Unités) units should be used.
14. The acknowledgement in the manuscript should be short as possible and it should be indicated if any support is given to work by an institution or a person.
15. Manuscripts submitted for publication in our journal are checked a similarity control software. Similarity report will be sent on the advisory board to be checked. If the similarity control program report results as high similarity, manuscripts are sent back to authors for them to make necessary changes.
16. Literature references are to be numbered consecutively in square brackets. The list of references should be given at the end of the paper in order of their first appearance in the text. Unpublished data should not be used as references. But MSc and PhD thesis, accepted by jury and the manuscripts not published yet if accepted for publication with DOI numbers can be use as references.

References should be provided with the following information:

If the reference is a journal paper: Author surname, first name initial(s), title of the paper, journal name, volume number, pages, year.

Example: [1] Naghdi, P. M., Kalnins, A., On Vibrations of Elastic Spherical Shells. J. Appl. Mech., C 29, S 65-72, 1962

If the reference is a book: Author surname, first name initial(s), title of the book, volume number, editor(s) (if provided), place of print , page interval, year.

Example: [2] Kraus. H., Thin Elastic Shells, New York. Wiley, 1967.

If the reference is a congress presentation: Author surname, first name initial(s), title of the presentation, name of the congress, seminar or conference, place, page interval, year.

Example: [3] Cappleman. O., Communication in the Studio, FIDE'98 International Conference on First Year Architectural Design Education Proceedings, Faculty of Architecture İstanbul Technical University, Cilt V, S 48-54, 1998

If the reference is a printed thesis: Author surname, first name initial(s), title of the thesis, thesis type (MSc. or Ph.D), institute submitted, place, page interval, year.

Example: [4] Özşahin. B., Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Duvarlı Binaların Yapımsal ve Ekonomik Uygulanabilirliği, Ph.D, Trakya University Graduate School of Natural and Applied Sciences, P 5-9, 2011

If the reference is a source publication: Author surname, first name initial(s), report name, name of the organization (if the report is prepared by an organization), report number (if applicable), place, page interval, year.

Example: [5] Makarewicz. J.C., Lewis. T., Bertram. P., Epilimnetic Phytoplankton and Zooplankton Biomass and Species Composition in Lake Michigan, 1983-1982, IL EPA 905-R-95-009, U.S EPA Great Lakes Natioanl Program, Chicago, 1995

For Electronic Encyclopedia and books: Author surname, first name initial(s), title of the paper, journal name, website name and web address, date of access

Example: [6] Pieper. C. M., Introduction to Activity Based Costing, A Technical Bulletin From ABC Technologies, www.abctech.com 1998, 12.10.2014



MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ
JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE
http://fbdergi.klu.edu.tr

TELİF HAKLARI DEVİR FORMU

Makale Adı:

Yazarların Ad/ları:

Biz aşağıda imzaları bulunan yazarlar, sunduğumuz makalenin orijinal olduğunu; başka bir yerde yayınlanmak üzere verilmediğini, daha önce yayınlamadığını, eğer, tümüyle ya da bir bölümü yayınlandı ise yukarıda adı geçen dergide yayınlanabilmesi için gerekli her türlü izin alındığını ve orijinal telif hakkı devir formu ile birlikte Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü'ne gönderildiğini garanti ederiz.

Makalenin telif haklarından feragat etmeyi kabul ederek sorumluluğu üstlenir ve imza ederiz.
Bu vesileyle makalenin telif hakkı Kırklareli Üniversitesi'ne devredilmiştir. Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü makalenin yayınlanabilmesi konusunda yetkili kılınmıştır. Bununla birlikte yazar/ların aşağıdaki hakları saklıdır:

1. Telif Hakkın dışında kalan patent vb. bütün tescil edilmiş haklar.
2. Yazarın gelecekteki yapacağı kitap ve dersler gibi çalışmalarında; makalenin tümü veya bir bölümünü ücret ödemeksizin kullanma hakkı.
3. Makaleyi satmamak koşulu ile kendi amaçları için çoğaltma hakkı.

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

(Yazar isimleri makaledeki sıraya göre yazılacak ve Telif Hakları Devir Formu tüm yazarlar tarafından imzalanacaktır.)

Makaleyi Gönderen Sorumlu Yazar:

Adı -Soyadı:

Yazışma Adresi:

Telefon: ()

Fax: ()

E-posta:

Bu form makale hakem incelemesi için dergi editörlüğünce kabul edildikten sonra doldurulup imzalandıktan sonra basılı 2 nüsha halinde "Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kavaklı Yerleşkesi Değirmencik Yolu Üzeri Kavaklı/ Kırklareli" adresine gönderilmelidir.



JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ
http://fbedergi.klu.edu.tr

COPYRIGHT TRANSFER FORM

Manuscript Title:

Full names of all authors:

The undersigned authors, we guarantee that our submitted manuscript is original work; it has not been published and is not being submitted or considered for publication elsewhere, if, in whole or part of publication of the magazine was published for the above-mentioned receipt of all necessary permits and was sent to Editorial Office of Kırklareli University Journal of Engineering and Science with copyright transfer form.

We agree to waive the right to assume the responsibility of the copyright of the article and thank signature. This article is hereby transferred to the copy right of Kırklareli University. Kırklareli University Journal of Engineering and Science Editor of the publication the article is authorized. However, the authors reverse the following rights:

1. All proprietary rights Copyrights outside, such as patents.
2. to use, free of charge, all parts of this article for the authors' future works in books, lectures.
3. the right to reproduce the article for their own purposes provided the copies are not offered for sale.

Author Name: Date:/...../..... Signature:

Author Name: Date:/...../..... Signature:

Author Name: Date:/...../..... Signature:

Author Name: Date:/...../..... Signature:

Author Name: Date:/...../..... Signature:

Author Name: Date:/...../..... Signature:

(The authors will be written in the order of to appear on manuscript and copyright transfer form should be signed by all authors)

Corresponding Author's:

Name-Surname:

Address:

Phone: ()

Fax: ()

E-mail:

Please, fill in this form after your manuscript accepted by journal editorial for referee review, sign and sent two copies published form to address: "Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kavaklı Yerleşkesi Değirmencik Yolu Üzeri Kavaklı/ Kırklareli"