



**Trakya Üniversitesi  
Mühendislik Bilimleri Dergisi**

**Cilt: 19 Sayı: 2 Aralık 2018**

**TRAKYA  
UNIVERSITY  
JOURNAL OF  
ENGINEERING  
SCIENCES**

**Volume: 19 Number: 2 December 2018**

**Trakya Univ J Eng Sci**

<http://dergipark.gov.tr/tujes>  
[tujes@trakya.edu.tr](mailto:tujes@trakya.edu.tr)

**ISSN 2147-0308**

**Trakya Üniversitesi  
Mühendislik Bilimleri Dergisi**

**Cilt: 19**

**Sayı: 2**

**Aralık**

**2018**

**Trakya University  
Journal of Engineering Sciences**

**Volume: 19**

**Number: 2**

**Aralık**

**2018**

**Trakya Univ J Eng Sci**

<http://dergipark.gov.tr/tujes>  
[tujes@trakya.edu.tr](mailto:tujes@trakya.edu.tr)

**ISSN 2147-0308**

**Dergi Sahibi / Owner**

Trakya Üniversitesi Rektörlüğü, Fen Bilimleri Enstitüsü Adına  
On behalf of Trakya University Rectorship, Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Prof. Dr. Murat YURTCAN

**Yayın Kurulu Üyeleri / Editorial Board Members**

**Baş Editör / Editor-in-Chief**

Doç. Dr. Hacı Ali GÜLEÇ Gıda Mühendisliği Trakya Üniversitesi

**Yardımcı Editörler / Co-Editors**

Doç. Dr. Esmâ MIHLAYANLAR Mimarlık Trakya Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Gökhan KOÇYİĞİT Elektrik-Elektronik Müh. Trakya Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Altan MESUT Bilgisayar Mühendisliği Trakya Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Sezer ULUKAYA Elektrik-Elektronik Müh. Trakya Üniversitesi

**Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board**

Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER Makine Mühendisliği Yıldız Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. İsa CAVİDOĞLU Gıda Mühendisliği Yüzüncü Yıl Üniversitesi  
Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU Makine Mühendisliği Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Naci GENÇ Elektrik-Elektronik Müh. Yüzüncü Yıl Üniversitesi  
Prof. Dr. Özer GÖKTEPE Tekstil Mühendisliği Namık Kemal Üniversitesi  
Prof. Dr. Türkan GÖKSAL ÖZBALTA İnşaat Mühendisliği Ege Üniversitesi  
Prof. Dr. M. Bahattin TANYOLAÇ Biyo-mühendislik Ege Üniversitesi  
Doç. Dr. Orhan ARKOÇ Jeoloji Mühendisliği Kırklareli Üniversitesi  
Doç. Dr. Pelin ONSEKİZOĞLU BAĞCI Gıda Mühendisliği Trakya Üniversitesi  
Doç. Dr. Yılmaz KALKAN Elektrik-Elektronik Müh. Adnan Menderes Üniversitesi  
Doç. Dr. Cemil ÖZYAZGAN İnşaat Mühendisliği Kırklareli Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Esin BENİAN Mimarlık Trakya Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Hamza F. CARLAK Elektrik-Elektronik Müh. Akdeniz Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ERGEN Mimarlık Siirt Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Timur KAPROL Mimarlık Namık Kemal Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Hasan Faik KARA İnşaat Mühendisliği Trakya Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Burak ÖZŞAHİN İnşaat Teknolojisi Kırklareli Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Umut TİLKİ Elektronik ve Haberleşme M. Süleyman Demirel Üniversitesi

**Dizgi / Design**

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan KOÇYİĞİT

**İletişim Bilgisi / Contact Information**

Address : Trakya Üniversitesi, Enstitüler Binası, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balkan Yerleşkesi, 22030, Edirne / TÜRKİYE  
Web site : <http://dergipark.gov.tr/tujes> E-mail : [tujes@trakya.edu.tr](mailto:tujes@trakya.edu.tr)  
Tel : +90 284 2358230 Fax : +90 284 2358237

**Baskı / Publisher**

Trakya Üniversitesi Matbaa Tesisleri / Trakya University Publishing Centre

## İÇİNDEKİLER / CONTENTS

### ARAŞTIRMA MAKALESİ / Research Article

**EFFECTS OF THERMO-MECHANICAL STRESSES ON THE STRENGTH BEHAVIOR OF CONCRETE IN MACRO SPECIMENS IN FIRE CASE / Yangın durumunda makro beton numunelerde meydana gelen termo-mekanik gerilmelerin beton dayanımına etkisi**

Ataman HAKSEVER

53-63

**KONUT ÇATI VE CEPHELERİNDE FARKLI FOTOVOLTAİK SİSTEM UYGULAMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ / An evaluation of different photovoltaic system applications in housing roof and facade**

Ülger BULUT KARACA, Setenay UÇAR

65-76

**BİLİŞİM ALTYAPILARI İÇİN AÇIK KAYNAK KODLU VERİ KAYIT VE GÖZLEM YAZILIMI / Open source coded data recording and observation software for controlling informatics infrastructure**

Doğan BAŞARAN, Burak TÜYSÜZ

77-87

### DERLEME MAKALE / Review Article

**KÖPÜK KURUTMA TEKNİĞİNİN MEYVE VE SEBZE İŞLEMEDE KULLANIMI / Applications of foam mat drying in fruit and vegetable processing**

İnci ÇINAR, Fatma Kevser ERAFŞAR

89-100



## EFFECTS OF THERMO-MECHANICAL STRESSES ON THE STRENGTH BEHAVIOR OF CONCRETE IN MACRO SPECIMENS IN FIRE CASE

Ataman HAKSEVER 

(Emr. 2006), Trakya University, Çorlu Faculty of Engineering, Tekirdağ/Turkey

### Cite this article as:

Haksever, A. (2018). Effects of thermomechanical stresses on the strength behavior of concrete in macro specimens in fire case. *Trakya University Journal of Engineering Sciences*, 19(2), 53-63.

### Highlights

- Non-steady state temperature development in large specimens in case of ISO834 fire
- Experimental research for the determination of behavior of large scale concrete specimens
- Development of Restraint forces in large scale specimens under fire action

### Article Info

### Abstract

#### Article History:

Received:  
February 19, 2018  
Accepted:  
October 08, 2018

#### Keywords:

fire case;  
reinforced concrete;  
macro specimens;  
fire resistance;  
relaxation;  
material behavior.

Rheological research works investigate for fire case the material behavior of small specimens and derive from the test results material laws to determine the behavior of structural elements due to fire exposure. However, as it is known, the heat and mass transport processes can significantly happen in different phases in macro concrete elements. Besides, in case of a fire, different heating rates occur in the cross section of structural elements. The validity of the transferred test results from small test specimens to the material behavior of structural elements indicates a phenomenon, which has not been investigated up to now. Such a research work has been done for the first time through close cooperation of subprojects A and B3 of SFB (Sonder-Forschungsbereich: A special fire research activity for structural elements in Braunschweig Technical University, 1971-1986). The results of the rheological investigations presented in this paper can lead to a new research conception about the determination of realistic fire behavior of concrete structures. By means of further purposive research work, it will be possible to reproduce the structural behavior in case of fire with simple but realistic mathematic-rheological relationships.

## YANGIN DURUMUNDA MAKRO BETON NUMUNELERDE MEYDANA GELEN TERMO-MEKANİK GERİLMELERİN BETON DAYANIMINA ETKİSİ

### Makale Bilgileri

### Öz

#### Makale Tarihçesi:

Geliş:  
19 Şubat 2018  
Kabul:  
08 Ekim 2018

#### Anahtar Kelimeler:

yangın durumu;  
betonarme;  
makro numuneler;  
yangın dayanımı;  
sünme;  
reoloji.

Reolojik araştırma çalışmaları, yangın durumunda, malzeme davranışını belirlemek için küçük boyutlu numuneler kullanmakta ve deney sonuçlarından yapı elemanlarının yangın davranışını belirlemede kullanılacak malzeme davranış kanunlarını saptamaktadır. Bununla beraber, bilindiği üzere, beton makro elemanlarda ısı ve kütle taşınımaları önemli ölçüde farklı fazlarda meydana gelmektedir. Küçük numunelerden elde edilmiş olan deney sonuçlarının, yapı elemanlarına tatbikinin geçerliliği, şimdiye kadar araştırılmamış bir fenomen teşkil etmektedir. Böyle bir araştırma çalışması ilk defa SFB ye ait (Özel Araştırma Alanı : Braunschweig Teknik Üniversitesi'nde yapı elemanlarının yangın davranışı üzerine özel araştırma aktivitesi) A ve B3 alt araştırma projelerinin yakın çalışması sonucunda gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ortaya konan reolojik araştırma sonuçları, beton yapı elemanlarının gerçekçi yangın durumunu belirlemede yeni bir araştırma kavramına öncelik edebilir. İleride amaca yönelik araştırma çalışmalarında yangın durumunda yapı elemanlarının gerçek davranışını, basit matematik-reolojik bağıntılarla belirlemek mümkün olacaktır.

## 1. Introduction

Research work on macro concrete specimens under elevated temperatures are rare, almost there are no systematically investigations to determine the behavior of such kind specimens. The all previous and new main concerning research works, which are published, inform however that in the tests small scale specimens were used. In the following chapters it will be shown that the macro specimens behave very differently, especially, in case of re-straining, which proves that material laws derived from small scale tests must be substantially new taken into account in order to predict the fire behavior of structural elements.

### 1.1. Literature review

The effect of strain rate on the compressive behavior of high-strength concrete (HSC) is experimentally investigated by (Jianzhuang et al., 2016), in exposure to elevated temperatures. They used 45 (HSC) prisms, which are heated up to 20, 200, 400, 600 and 800ΔK. The pre-heated prisms are then axially loaded at quasi-static strain rate of  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$  as well as two aftershock dynamic strain rates of  $10^{-3}$  and  $67.10^{-3} \text{ s}^{-1}$ , respectively. The test results indicate that the higher the temperature and strain rate are, the larger the number of cracks and fragments will be. Finally, the stress-strain relationship and dynamic increase factor (DIF) of (HSC) after exposure to elevated temperatures are proposed.

Ordinary concrete samples made from the most common Type I Portland cement as well as some uncommon glossy-looking concrete lumps collected from a real fire scene are examined by Wei-Tun Chang, et al. (1994) by using thermo gravimetry (TG), differential thermal analysis (DTA), X-ray diffraction and scanning electron microscope/energy dispersive X-ray spectrometry (SEM/EDX) with the aid of an unsealed furnace. The study yields a rationalization of the interesting lump-formation phenomenon.

The effects of elevated temperatures on the concentric compressive behavior of confined concrete are presented by (K.A. Zaidi, et al., 2012). They designed an experimental program and carried out involving testing of hoop confined concrete cylindrical specimens exposed to elevated temperatures ranging from room  $[T_r]$  temperature to  $T_c = 800\Delta K$ . The results indicated that the residual strength, strain corresponding to the peak stress and the post-peak strains of confined concrete are not affected significantly up to an exposure temperature of 400ΔK.

(Dwaikat and Kodur, 2008) presented a model to predict the influence of fire induced restraints on the fire resistance of reinforced concrete (RC) beams. The three stages, associated with the fire growth, thermal and structural analysis, for the calculation of fire resistance of the RC beams are explained. A simplified approach to account for spalling under fire conditions is incorporated into the model. The program is used to conduct two case studies to investigate the influence of both the rotational and the axial restraint on the fire response of the RC beams. Through these case studies, it is shown that the restraint, both rotational and axial, has significant influence on the fire resistance of the RC beams.

(Gernay and Franssen, 2012) showed that the stress-temperature experienced by structural concrete are varied and complicated and that concrete material models cannot handle properly these complex situations of unsteady temperatures and stresses without explicit consideration of transient creep. The first objective of this paper is as to show the capabilities and limitations of concrete uniaxial constitutive models at elevated temperatures for thermo-mechanical behavior modeling, depending on the creep strain in the model. It appears that one of the major limitations of implicit models concerns the unloading stiffness.

(Gustafsson and Lin, 1986) gave in their paper information for determining the fire endurance of

certain concrete members based on heat transmission criteria. The paper contains information for determining the fire endurance of simply supported slabs and beams, continuous beams and slabs, floors and roofs in which restraint to thermal expansion occurs.

Research works presented above investigate the material behavior of small specimens and derive from the test results material laws to determine the behavior of structural elements in case of fire. However, as it is known, the heat and mass transport processes can significantly occur in different phases in macro concrete specimens. Besides, in case of a fire, steep heating rates are present in the cross section of macro specimens (see Figure 4). The transfer of the test results from small test specimens to describe the material behavior of structural elements presents therefor a complex problem, which is not analyzed and investigated up to now.

### 1.2. Problem definition

Determination of the influence of high temperature on the material properties of the concrete is often sufficient to carry out such kind of tests, which may be used to predict the behavior of the structural concrete elements in fire case. For the tests mainly such specimens are used, that the dimensions of them are very small with respect to the structural element. The tests are planned so that short- as well as long-term test data can be obtained under steady state as well as transient temperature conditions. This process may enable to obtain general statements on the material behavior of the concrete at high temperatures and to predict the deformations and the fire resistance of structural elements. The behavior of the concrete under thermal exposure is, of course, influenced by a variety of parameters, especially in concrete macro elements.

In the earlier research works of Subproject B3 of SFB 148, four different methods are used to determine these

parameters by means of the developed own measurement techniques (Subproject B3 of SFB, 1981-1986). In view of the affectivity of these tests, the preparation of the specimens is carried out as concrete cylinders. It is known that, in mechanical-technological research work on concretes, the sample geometry plays a particular role. The collapse behavior of samples is, for example, determined very substantially by the friction conditions between the specimen's compression area and the pressure plates. It is determined that slenderness's ratio between two and five are the most appropriate values for material investigations. The smallest specimen size, however, is chosen according to the size of the aggregate. Due to technological reasons for concrete tests, the largest grain size was determined not below 16 mm, so that a sample diameter of 80 mm and the height 300 mm was decided for the investigations (Schneider, 1973, 1977).

The heating rate of the furnace hot gas temperature is controlled as  $\dot{T}_g = 4\Delta\text{K}/\text{min}$ , so, for the above selected sample dimensions a heating rate of  $\max \dot{T}_c = 2\Delta\text{K}/\text{min}$  existed in the test specimens. This heating rate caused a radial temperature difference of approx.  $\max. T_r = 50\Delta\text{K}/\text{cm}$  in the cross section, which is proven acceptable. The results of the investigations are presented in various periodical reports of subproject B3 (SFB148, 1970-1986).

Research results are obtained after type III tests in B3 of SFB148 (Determination of  $\varepsilon_z$  and  $\varepsilon_c$ ). In this type of tests, the deformations of the loaded specimens are obtained under a transient thermal condition. They have become known as "warm creep tests" (Schneider and Kordina, 1975). During the tests, the total uniaxial deformations of specimens, i.e. the sum of elastic and transient deformations, thermal expansions and shrinkage are measured. The thermal expansion of the concrete is determined by means of unloaded specimens. The difference between thermal expansion and the total deformation is caused due to the acting stress



present and to the actual concrete temperature  $T_c$  during the heating.

The material laws developed from this research program could be successfully used to determine the behavior of structural elements in case of a fire under *certain* test conditions (Kordina et al., 1975-1983, SFB). On the other hand, extensive computational investigations showed that the results of the warm creep tests could not be applied generally, if the structural element is subjected to a restraining condition during the fire (Haksever, 1978-1980 and 2017). The observed discrepancies between the calculation and the test results include the following reasons:

1. In case of a fire, generally rapid heating rates occur in the cross section of structural element
2. The heat and mass transport processes differ in macro concrete elements with respect to the small scale specimens, especially due to vapor pressure
3. The transfer of the test results from small test specimens with *low heating rates* to investigate the material behavior of structural elements indicates a complex problem, which has not yet been completely cleared and assessed for the fire case.

This research work aims at, as a *first step*, by appropriate planning of the experiments to find an answer to the above described question complex. The parameters are realized both by the dimensions of the test specimens as well as by the simulation of ISO834 fire in the furnace. A particular objective of the investigations is to enable the validity of the material laws evaluated from the tests for fire case.

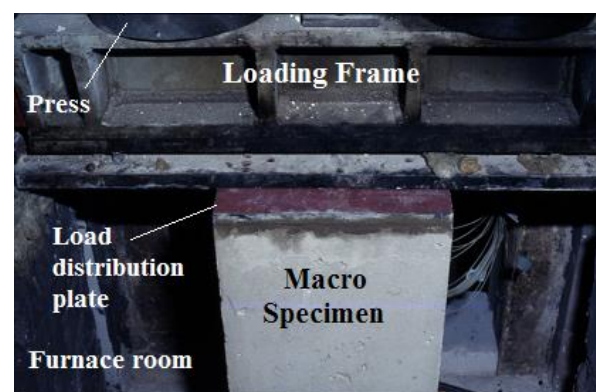
### 1.3. Mechanical-technological investigations under elevated temperatures

In order to determine the influence of the fire exposure on the material properties of the concrete, a test specimen with macro dimensions is planned. The sample cross-section is chosen with a width of 300 mm

in square form. The height of the prismatic sample from 900 mm is almost 10 times the hydraulic radius of the cross section (Janko, 1972). The test sample thus formed a cut of a square bar-shaped structural element. Thus it is intended to obtain reliable information on the material behavior of the concrete as being construction sample.

Because the material-related investigation primarily focused on determining the material behavior of concrete, a weak reinforcement was selected for samples. The specimen was symmetrically and longitudinally reinforced with  $\Sigma A_s=8\Phi 8$  and closed stirrups reinforcement is arranged as  $\Phi 6/15$  cm from the reinforcing steel St420/500. The samples are planned to be cast with C20/25 concrete, which had however, a strength  $f_{cm,c}=45.6$  N/mm<sup>2</sup> and reinforcing steel  $f_y=450$  N/mm<sup>2</sup>.

The experimental investigations for this research work have been carried out in a special high-temperature test furnace of which construction and equipment is described in (Meyer-Ottens, 1975). The Figure 1 illustrates the test specimen in the furnace before the fire exposure begins. Thick iron plates distribute the axial load into uniform pressure stress.



**Figure 1.** Built in macro specimen in the test furnace

The test furnace includes a combined load measuring and dilatation system. This arrangement allows deformation measurements to be carried out under steady state and transient thermal conditions up to

almost  $T_g=1000\Delta K$  by excluding the furnace deformations. The macro concrete specimens can be subjected to various load and temperature cycles.

Figure 2 and 3 show the furnace structure and the arrangement of the measuring system (dilatometers D and thermo couples 1-6).

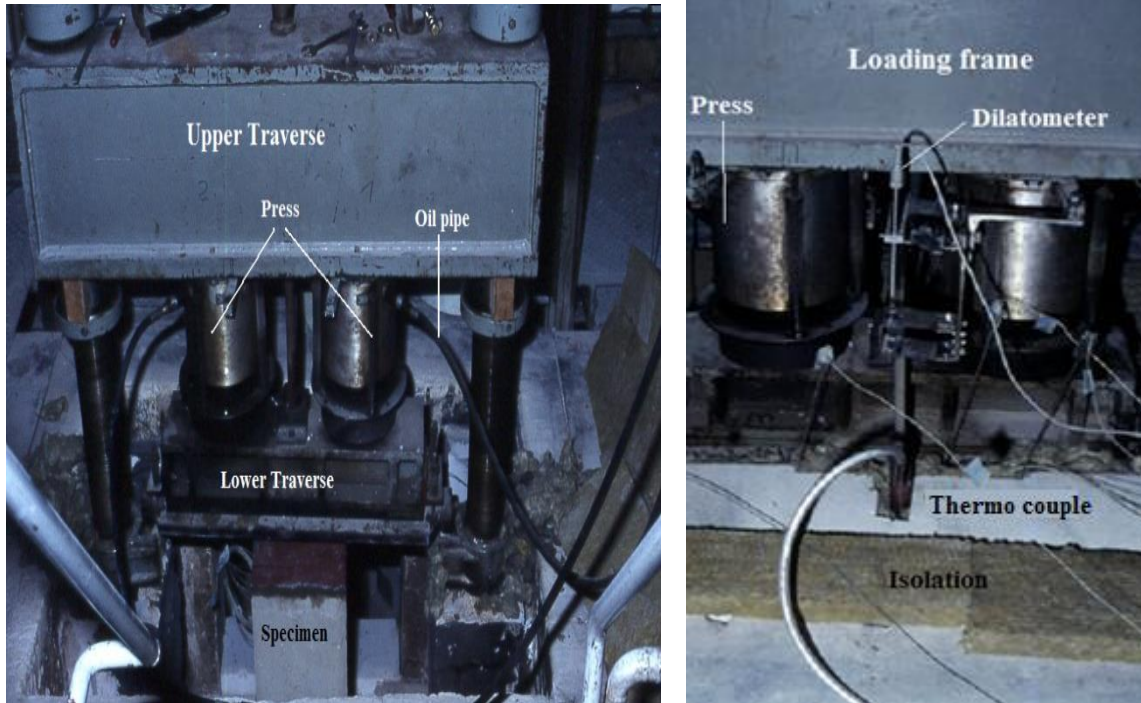


Figure 2. Loading and dilatometer system of the test furnace

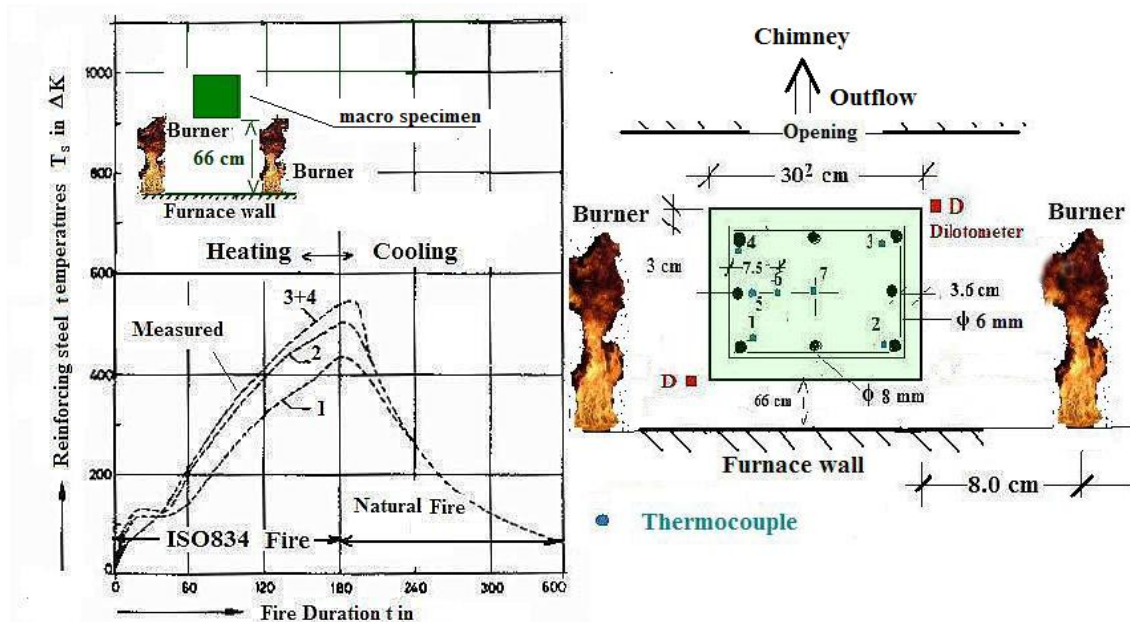


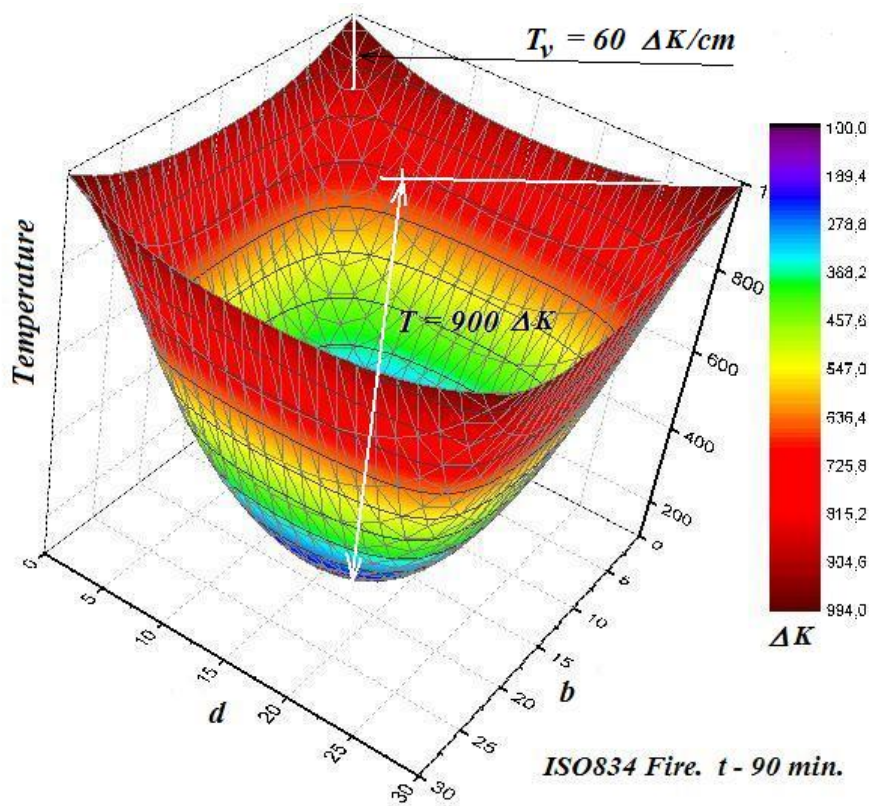
Figure 3. Temperature development of the measured corner reinforcements and the cross section of the macro specimen drawn with no scale.

In the tests furnace temperatures  $T_g$  are controlled according to ISO834 (DIN 4102) fire curve. As a result

of specimen dimensions high temperature differences and gradients developed in the cross sections of the

macro samples (up to  $T_c \approx 900 \Delta K$  and  $T_v \approx 60 \Delta K/cm$ ). Figure 4 shows the calculated temperature distribution in the 30/30 cross section. Consequently, rapid mass

and heat transfer processes have been effective in the test specimen.



**Figure 4.** Temperature distribution in the specimen with  $A_c=300^2$  mm<sup>2</sup> cross section

Totally seven thermo-couples were installed in each concrete sample. Besides, the steel temperatures  $T_s$  measured are also illustrated in Figure 3. The results of the measurements show that the heating of the specimen is not completely symmetric during the test. The temperature differences are in the symmetrically arranged reinforcements up to  $T_s=50\Delta K$ . It is mainly due to the arrangement and the flame direction of the burners as well as the location of the hot gas flow opening just at the opposite side of the furnace wall.

## 2. Total deformation of the macro specimen

The load-elongation development of reinforced concrete structures generally is very complex in case a

fire. In a natural fire exposure, it can be dependent also on several of mutually influencing parameters. In order to avoid unnecessarily increasing the parameter number, an all-side fire exposure was chosen according to ISO834 for the tests and only the heating phase of the fire was taken into account and the cooling phase after switch off the furnace burners disregarded for the investigations. The total deformation of the macro-concrete specimens, which are dried at a temperature of  $T_r=20\Delta K$  and a relative humidity of 65%, is shown for various load levels in Figure 5 for ISO fire case.

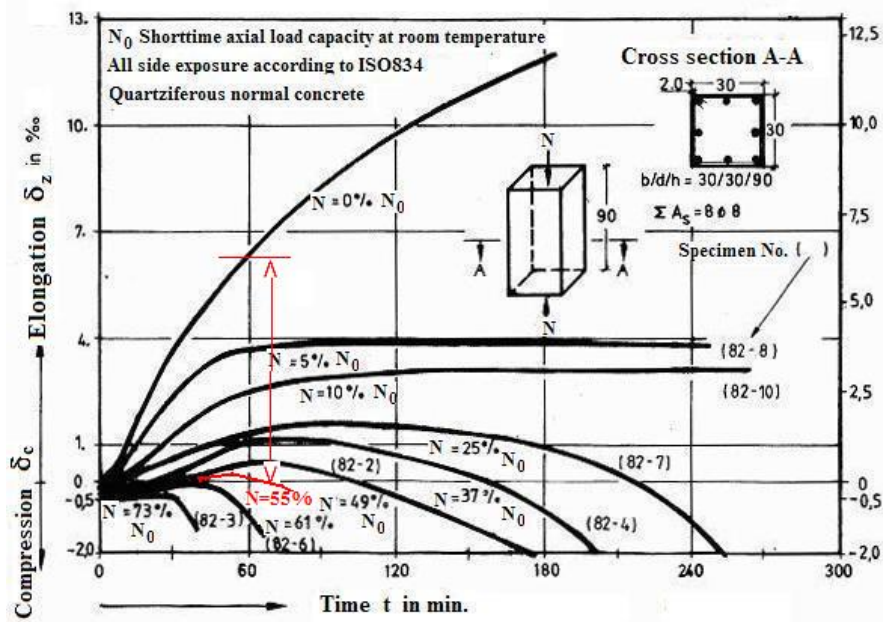


Figure 5. Total deformation of the heated macro-concrete specimens

With regard to the total deformation of the specimens under unsteady heating condition, the following results are obtained from the tests:

1. For the unloaded case of the specimen, a continuously increasing expansion is present as elongation ( $N = 0$ ).
2. The gradient of the thermal elongation is permanently decreasing.
3. After a three-hour fire exposure, the thermal expansion has not decreased at any time during the fire, although thermal expansion decreases in case of small test specimens when approx. a temperature of  $T_c = 700\Delta K$  is reached.
4. A slight load increasing of the test specimens with 5% of the short-time load bearing capacity  $N_0$  results in after one-hour fire duration a considerable stabilization in the elongation of the macro specimen (specimen 82-8).
5. Due to application of such low load level, the thermal elongation of the macro specimen is almost

completely compensated after one hour exposure by the load dependent deformations.

6. However, the elongations remain almost constant even after 4 hour fire duration.
7. It can be seen from the picture that after one-hour fire duration considerable load-dependent deformations occur with the increasing load levels (specimen 82-7).

However, a similar observation can only be made with the small test specimens under a load of 45%  $N_0$  with a heating rate of  $\dot{T}_c = 2\Delta K/min$ . This effect in the macro specimens gives a clear indication of the differently developing relaxation forces compared to the small specimens. For example, Figure 5 indicates that after one hour fire exposure and in case of a total restraining, almost 55% restraint forces of  $N_0$  develop in the macro specimen. The computational investigations carried out have shown that the application of the material laws, which base on hot creep tests with *small* concrete specimens cannot satisfactorily predict the deformation behavior of structural elements in the fire tests, especially in case of restraining the development of the

restraint forces in concrete columns, if the *shape factor* is not taken into account.

Up to 15% loading, no significant difference was observed between the fracture times of the specimens. Only beginning from a 25%  $N_0$  loading the fire resistance times were differed. The *critical times* observed in the macro specimen-tests, correspond therefore to the *critical temperatures* at the small concrete cylinder-specimens at which the compression ends with fracture. Figure 5 shows clearly that after exceeding a 60%  $N_0$  load level no significant elongation was observed in the specimen. On the other side, beginning from the 60%  $N_0$  load level, fire resistance times of the specimens were considerably decreased (Figure 5: s. 82-3 and 82-6 specimens).

### 3. Rheological relationships

For the mathematical treatment of the fire behavior of concrete constructions, it is necessary to analyze and transform the results obtained from the tests in the form of mathematic-rheological relationships. In earlier research work of Subproject B3 of SFB it was pointed out that the total deformation of small concrete specimens under thermo-mechanical stress conditions is composed of at least five separate deformations (Schneider, U., 1977). They are:

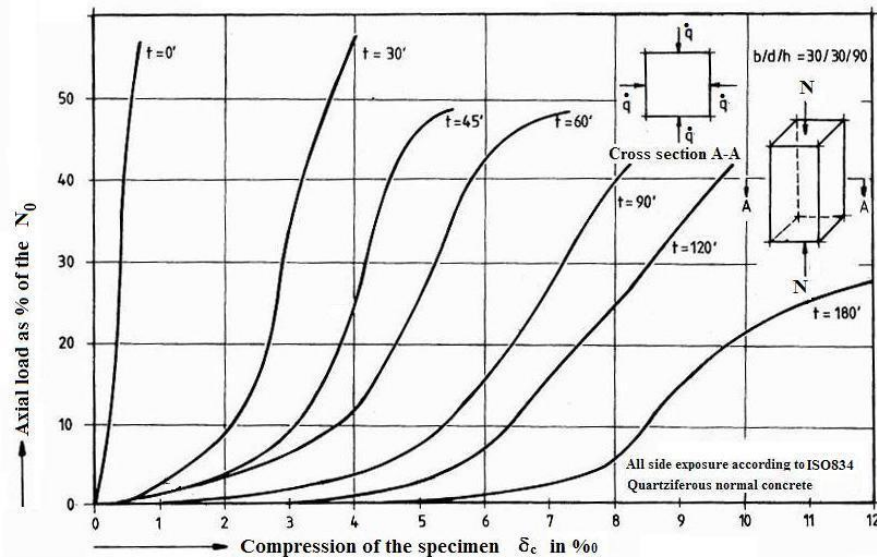
- a) Thermal elongation
- b) Shrinkage deformations
- c) Spontaneous elastic deformations
- d) Spontaneous plastic deformations
- e) Creep deformations

The following types of deformation must be taken into account:

1. Load-dependent deformations (*c-e*, see above) and
2. Load-independent deformations (*a-b*).

The sum of the above-described deformation components (*a-e*) forms the total deformation of a concrete specimen in case of a steady state or transient temperature condition and under an acting load level. The warm creep tests described in section 2 can therefore be considered in this respect as representative for macro specimen deformation due to thermo-mechanical loading condition, so the corresponding rheological relationships can be obtained from the illustrated warm creep curves from Figure 5. While in the case of small test specimens for the temperature-strain relationships, the stress is used as share parameter, it is now being replaced by the load-share parameter for time-elongation relationship as shown in Figure 5.

In order to derive load and time-dependent deformations, working lines for concrete is developed by the help of warm-creep tests. Figure 6 shows the results of the analysis obtained by the help of Figure 5. It results in that; the well-known stress-strain relationship is also replaced by the compression-concrete loading in Figure 6 respectively. The duration of the fire is specified as share parameter by which the concerning specimen compression can be obtained for axial loading. In contrary to the tests by the small specimens, in Figure 6 strain  $[\epsilon_c]$  is replaced by the total compression  $[\delta_c]$  and the stress  $[\sigma]$  by the axial load  $[N]$  for different fire durations  $[t]$  instead of specimen temperature  $[T_c]$  as it is the case for small specimens.



**Figure 6.** Axial load-compression relationship of macro specimens in case of ISO834 fire for different time durations due to eccentricity of  $e_u = d/300$

Relationships in Figure 6 can thus be used to determine the load-dependent deformations of a macro concrete specimen for certain fire duration according to ISO834. The advantage of such a representation is that the behavior structural elements under standard fire case can be described with a single load-deformation illustration. It is therefore not necessary to obtain for certain fire duration temperature and stress distribution in the cross section of the structural element by means of complex calculation operations. Instead, the results of the load-compression calculations for a macro specimen can be directly taken from Figure 6.

Figure 6 also indicates that the curves of the load-compression relationships show a double curvature with the increasing fire duration. As the fire progress, a considerable increase in load-dependent compression deformations is to observe.

#### 4. Conclusions and objectives

In this contribution, a new rheological relationship for normal concrete at elevated temperatures is presented. This relationship offers the possibility to determine the realistic fire behavior of concrete structural elements by means of simple load-deformation tests. In order to

develop such a relationship, instead of the small test specimens, macro test specimens are used as a cut from a concrete structural element. The use of such a macro test specimen is advantageous, because the application problems of the material laws from the small test specimens can considerably be eliminated.

The presenting such rheological relationships for concrete material is, of course, only valid for a particular specimen shape, load eccentricity and fire case. However, the results of the computer investigations so far show that the transfer of the test results from a particular macro specimen shape to the similar macro test prisms, may be possible by some simple mathematical formulations (*i.e.* by relating the hydraulic radii of the specimens).

The results of the new rheological investigations in this paper can lead as a *first step* to a new research conception in order to determine the realistic behavior of concrete structures under fire exposure. By means of further purposive research, it will be possible to reproduce the structural behavior in case of fire, especially in case of restraining, with simple rheologic-mathematical relationships.

**Acknowledgement:**

The Deutsche Forschungsgemeinschaft (German Research Foundation; DFG) supported this research work of SFB, where the author was also active for many years and accomplished this research work, deserves particular thanks and appreciates.

**Notations:**

$A_c$	Cross section area of the concrete specimen	[mm <sup>2</sup> ]
$A_s$	Total reinforcing	[mm <sup>2</sup> ]
$b$	Width of the cross section of macro specimen	[cm, mm]
$d$	Depth of the cross section of macro specimen	[cm, mm]
$D$	Dilatometer in Figure 3.	
$e_u$	Unavoidable eccentricity; $e_u = s_k/300 = 0.15$	[cm]
$h$	Height of the macro specimen	[cm, mm]
$\Delta K$	Kelvin difference	[°C]
$f_{cm,cube}$ $f_{cm,c}$	Mean concrete compressive cube strength of 28 days	[N/mm <sup>2</sup> ]
$f_y$	Yield strength of steel	[N/mm <sup>2</sup> ]
$N_0$	Eccentric axial fracture load of concrete macro specimen at room temperatures due to $e_u$	[kN]
$N$	Axial load with an eccentricity of $e_u$	[kN]
$\dot{q}$	Heat flow direction	←
$S$	Distance	[cm]
$s_k$	Buckling length	[cm]
$\sigma$	Stress	[N/mm <sup>2</sup> ]
$T$	Temperature	[ΔK]
$T_c$	Temperature of the specimen	[ΔK]
$T_r$	Room Temperature	[ΔK]
$\dot{T}$	Heating rate	[ΔK/min]
$T_g$	Hot-gas temperature in the furnace	[ΔK]
$\dot{T}_g$	Heating rate of the furnace	[ΔK/min]
$T_s$	Reinforcing steel temperatures	[ΔK]
$T_v$	Temperature gradient $\partial T/\partial s$	[ΔK/cm]
$t$	Time	[min]

**Additional Symbols:**

$\varepsilon_z$	Elongation of the concrete small size specimen	[‰]
$\varepsilon_c$	Compression of the concrete small size specimen	[‰]
$\delta_z$	Elongation of the concrete macro specimen	[‰]
$\delta_c$	Compression of the concrete macro specimen	[‰]

The other notations are defined where they appear in the text

## References

- DIN 4102. (1981). Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen (Fire behavior of building materials and structural elements) Teile (Parts) 1-3, Teile (Parts) 5-7, and Teil (Part) 4., DIN Deutsches Institut für Normung E.V., Beuth Verlag, Berlin.
- Dwaikat, M. B., Kodur, V. K. R. (2008). A numerical approach for modeling the fire induced restraint effects in reinforced concrete beams. *Fire Safety Journal*, Volume 43, Issue 4, May 2008, Pages 291-307.
- Gernay, T., Franssen, J. M. (2012). A formulation of the Eurocode 2 concrete model at elevated temperature that includes an explicit term for transient creep. *Fire Safety Journal*, Volume 51, July 2012, Pages 1-9.
- Gustafarro, A. H., Lin, T. D. (1986). Rational design of reinforced concrete members for fire resistance. *Fire Safety Journal*, Volume 11, Issues 1-2, July-September 1986, Pages 85-98
- Haksever, A. (1978/1980). Relaxationsverhalten von Stahlbetontragwerken im Brandfall ( Relax-ations response of reinforced concrete structures in case of fire) Sonderforschungs-bereichs 148, Jahresbericht; Teil I, Technische Universität Braunschweig.
- Haksever, A. (2017). experimental and computational research on the fire behavior of restrained reinforced concrete columns Part II. *Trakya Uni J. Eng Sci*, Dec. 2017
- ISO.: International Organization for Standardization ISO Central Secretariat. Chemin de Blandonnet 8, CP 401. 1214 Vernier, Geneva, Switzerland.
- Janko, B.: Zum Trag- und Verformungsverhalten ebener Stahlbetonrahmen (For the structural deformation behavior of plane reinforced concrete frames). Diss. Technische Universität Braunschweig, 1972.
- Jianzhuang Xiao, ZhiweiLi a,b, QinghaiXie a, LumingShen.: Effect of strain rate on compressive behavior of high-strength concrete after exposure to elevated temperatures. *Fire Safety Journal* 83(2016)25-37.
- Kordina, K., et al. Sonderforschungsbereichs 148 (SFB148), Jahresberichte (Annual reports) 75/1977, 1978/1980, 1981/1983, Teil (Part) I, Technische Universität Braunschweig (Technical University Btaunscweig Ger.)
- Meyer-Ottens, C. (1975). Zur Frage der Abplatzungen an Bauteilen aus Beton bei Brand-beanspruchung (On the question of spalling of concrete structural elements under fire exposure). *DAfStb.*, Heft 248.
- Schneider, U. (1977). Festigkeits - und Verformungsverhalten von Beton unter stationärer und instationärer Temperaturbeanspruchung (Strength and deformation behavior of concrete under steady state and transient temperature conditions). *Die Bautechnik*, Heft 4, S. 123 - 132.
- Schneider, U. (1973). Zur Kinetik festigkeitsmindernder Reaktionen in Normalbeton bei hohen Temperaturen (On the kinetics of strength reducing reactions in normal concrete at high temperatures.). Diss. Technische Universität Braunschweig.
- Schneider, U., Kordina, K. (1975). On the behavior of normal concrete under steady state and transient temperature conditions. 3<sup>rd</sup> Int. Conf. Struct. Mech. in reactor Techn., Vol. 3, Part H, Paper 1/6, London.
- SFB 148.: “Sonderforschungsbereich 148; Brandverhalten von Bauteilen” (A special research field Nr. 148 for research of fire behavior of structural elements.) 1970-1986.
- Wei-Tun Chang, Chen-Then Wang, Chin-Wang Huang, Yun-Seng Giang. (1994). Concrete at temperatures above 1000°C. *Fire Safety Journal*, Volume 23, Issue 3, 1994, Pages 223-243.
- Zaidi, K. A., Sharma, U. K., Bhandari, N. M. (2012): Effect of temperature on uni-axial compressive behavior of confined concrete. *Fire Safety Journal*, Volume 48, February 2012, Pages 58-68.
- Subproject A of SFB: Fire behavior of structural elements & Subproject B3 of SFB: Material behavior of structural elements at elevated temperatures.* Technical University Braunschweig, Germany. (1971-1986)





# KONUT ÇATI VE CEPHELERİNDE FARKLI FOTOVOLTAİK SİSTEM UYGULAMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Ülger Bulut KARACA<sup>1\*</sup>, Setenay UÇAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İstanbul AREL Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Kemal Gözükara Yerleşkesi Büyükçekmece, İstanbul

<sup>2</sup> Antalya Bilim Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, Döşemealtı, Antalya

## Makale Künye Bilgisi:

Karaca, Ü. B., & Uçar, S. (2018). Konut çatı ve cephelerinde farklı fotovoltaik sistem uygulamalarının değerlendirilmesi. *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2), 65-76.

## Öneçkanlar

- Çatılarda uygulanan FV paneller yer ile olan açı ve güneş ışınım değerinin yüksekliği sonucunda cephede yer alan Fv panellere göre daha fazla elektrik üretir.
- Ek strüktür ile kullanılan FV panellerde, doğal havalandırma olanakları nedeniyle, panelin ısınmadan kaynaklanan verim kaybı azalır.
- FV panel kullanımı, binaların çatı yüzeylerinde cephelere kıyasla daha az mimari kısıtlama getirir.

## Makale Bilgileri

## Öz

### Makale Tarihiçesi:

Geliş:  
30 Ağustos 2018  
Kabul:  
29 Kasım 2018

### Anahtar Kelimeler:

güneş enerjisi;  
fotovoltaik panel;  
enerji etkin tasarım;  
bina kabuğu.

Güneş ışınlarından elektrik enerjisi elde etme amacıyla geliştirilen fotovoltaik sistemlerin kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Bina kabuğu, geleneksel işlevlerinin yanı sıra, enerji üretiminin sağlanması amacıyla fotovoltaik panel uygulamaları için de uygun bir tesis alanı işlevi yüklenebilmektedir. Mimari ölçütler dikkate alınmaksızın bina kabuğuna yapılan fotovoltaik panel uygulamalarının ciddi sorunlar yaratabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle, Burdur ili koşullarında tek katlı bir konutun ortalama günlük enerji gereksiniminin karşılanabilmesi için fotovoltaik sistem gereksinimleri belirlenerek, mimari ölçütler açısından tartışılmak üzere 4 farklı fotovoltaik sistem uygulama alternatifi değerlendirilmiştir.

## AN EVALUATION OF DIFFERENT PHOTOVOLTAIC SYSTEM APPLICATIONS IN HOUSING ROOF AND FACADE

## Article Info

## Abstract

### Article History:

Received:  
August 30, 2018  
Accepted:  
November 29, 2018

### Keywords:

solar energy;  
photovoltaic panel;  
energy efficient design;  
building envelope.

Photovoltaic systems developed for the purpose of obtaining electricity from sunlight are becoming increasingly widespread. In addition to its traditional functions, the building shell have equipped with a suitable plant area function for a for photovoltaic panel applications in order to provide energy production. It is thought that photovoltaic panel applied to the building shell can cause serious problems without considering architectural criteria. For this reason, photovoltaic system requirements were determined in order to meet the average daily energy requirement of a single story house in Burdur province. 4 different photovoltaic system application alternatives were evaluated for architectural criteria.

## 1. Giriş

Çevre sorunları ve rezervlerin azalması nedenleriyle, fosil yakıtlar yerine yenilenebilir ve doğada kirlilik yaratmayan enerji kaynakları kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu kaynaklardan en yaygın olarak kullanılan güneş enerjisidir.

Güneş enerjisinden binalarda aktif ve pasif olarak yararlanılabilmektedir. Pasif yöntemde binanın yönü, konumu, formu ve kabuğu uygun kriterlerde tasarlanarak güneşten faydalanılırken, aktif yöntemde kabuk ile bütünleşen bileşenler kullanılarak güneş ışığı depolanabilmekte ya da farklı bir enerji türüne dönüştürülebilmektedir (Turhan ve Çetiner, 2012).

Sözü edilen aktif yöntemler içerisinde yer alan uygulamalardan biri de fotovoltaik (FV) sistemler kullanılarak bina kabuğunda üretilen elektrik enerjisinin kullanılmasıdır. Bu sistem, günümüzde gerek bina yatay kabuğunda ve gerekse düşey kabuğunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bina kabuğunda çatı ve cephe elemanı olarak kullanılabilen FV panellerin kapasite ve verimlilikleri değerlendirilerek, her bina için uygun bir çözüm geliştirilmesi mümkün olmaktadır. Bu amaçla, binanın henüz tasarım aşamasında enerji gereksinimleri dikkate alınarak ölçütlerin belirlenmesi büyük öneme sahiptir. Ancak mevcut binalarda gerekli değişiklikler ile çözümler geliştirilmesi de mümkündür.

Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat, günlük toplam 7,2 saat, ortalama yıllık toplam ışınım şiddeti 1.311 kWh/m<sup>2</sup>-yıl, günlük toplam 3,6 kWh/m<sup>2</sup>-gün olduğu tespit edilmiştir. Türkiye, 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir (BAKA, 2011).

Özsoy (2015)'a göre, "ülkemizdeki konutların %20'sinde güneşli sıcak su hazırlama sistemi bulunmaktadır. Türkiye güneş kolektörü üretiminde dünyada ikinci, kullanımında ise üçüncü durumdadır." Güneş kolektörleri gibi FV sistemlerin de

yaygınlaşmasının, enerji alanındaki sorunların çözümüne katkıda bulunacağı açıktır. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı enerji etkin binaların tasarlanması önem kazanmaktadır.

## 2. Materyal ve Metod

Bu çalışmada, güneşlenme süresi ve iklimsel özelliklerinin uygun olmasına karşın FV sistemlerin yaygın olmadığı Burdur ili koşullarında tasarlanacak bir binada elektrik enerjisi gereksiniminin FV sistemler ile karşılanması kurgulanmış ve bu sistem bileşenlerinin bina kabuğunda uygun mimari ölçütler çerçevesinde değerlendirilmesi sağlanmıştır.

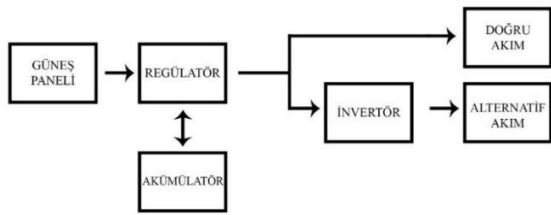
Bu amaçla, literatür taraması yapılarak çalışmada esas alınacak FV panel sistemi ve güneş hücreleri belirlenmiş; çalışmaya konu olan örnek konut için ortalama günlük enerji gereksinimi saptanmış; FV panellerin bina kabuğunda kullanım olanakları araştırılmıştır. Belirlenen enerji gereksiniminin karşılanabilmesi amacıyla, örnek konut çatı ve cephesinde her farklı uygulama alternatifleri için gerekli FV panel sayısının belirlenmesi ve sistem bileşenlerinin enerji üretimleri için hesaplama yapılmıştır; maliyetler dikkate alınmamıştır.

### 2.1. Fotovoltaik Sistemler

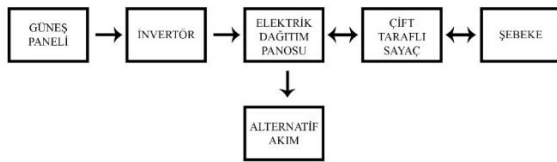
FV paneller, yaklaşık 25-30 cm<sup>2</sup>'lik kare bir alana sahip hücrelerden (güneş hücresi, FV hücresi) meydana gelir. Tipik bir FV hücre yaklaşık 1W'lık güç üretir. Yüksek güçler elde edebilmek için birçok FV hücre seri ve paralel olarak bağlanır ve büyük bir alana sahip bir modül elde edilir. Modüller birleşerek panelleri, paneller ise dizileri oluşturur.

Hücrelerin seri bağlanmasıyla modül gerilimi artırılır. Modüllerin paralel bağlanmasıyla, modülün sağlayacağı akımın miktarı ayarlanır. Modüllerin seri-paralel bağlanmasıyla, arzu edilen güç seviyesi elde edilmiş olur (Zengin, 2018).

FV sistemin kurgusunda, panellerden başka akü (batarya), invertör, blok diyotlar, devre kesiciler gibi bileşenlere gereksinim vardır. Bu bileşenler FV sistemin elektrik şebekesine bağlı olup olmamasına göre değişiklik gösterir. Şebekeye bağlı olmayan FV sistemlerde, yeterli enerji üretilmediği durumlarda güç sağlayabilmek için daha önce enerjinin depolanmış olduğu akü (batarya) grubu sisteme dahil olur (Şekil 1). Şebekeye bağlı FV sistemlerde ise, Şebekeye bağlı olmayan sistemlerden farklı olarak akü bulunmaz. Şebekeye bağlı olmayan sistemlerde, FV panellerin gereksinimden fazla enerji üretmesi durumunda, enerji fazlası depolanamaz; şebekeye verilir. Enerji üretiminin yetersiz olması durumunda ise şebekeden enerji alınır (Şekil 2).



**Şekil 1.** Genel Hali İle Şebekeye Bağlı Olmayan FV Sistem Kurgusu



**Şekil 2.** Genel Hali İle Şebekeye Bağlı FV Sistem Kurgusu

## 2.2. Bina Kabuğunda Fotovoltaik Panel Kullanımı

FV paneller, binaların çatı ve cephelelerinde, tasarım aşamasında veya mevcut binaya uygulanabilir. FV panel uygulanacak bina kabuğunun tasarımında FV panelin modül boyutu, formu ve rengi gibi unsurlar etkilidir. FV panellerin performansında ise, binanın konumu, yönü, FV panel uygulanacak yüzeyin açısı,

gölge alıp almama durumu, panel tipi, panel bakımı ve temizliği, nem ve sıcaklık gibi unsurlar etkilidir.

Bir FV güç sisteminin ömrünü FV panellerin ömrü belirlediğinden mümkün olduğunca uzun ömürlü güneş panelleri tercih edilmelidir. Genel olarak çoğu üretici 25 yılda %80 panel gücünü garanti etmektedir (Boztepe, 2018).

Binalarda en çok güneş ışığı alan yüzeyin çatı olması ve binanın diğer bölümlerine kıyasla, performanslarını olumsuz etkileyen unsurların az olması nedenleriyle, FV paneller birim başına daha fazla enerji üretimi için yaygın olarak çatı yüzeylerinde kullanılmaktadır. Ancak, çatının şekli, eğimi, farklı fonksiyonlar için kullanılabilmesi, alan olarak yeterli büyüklükte olmaması gibi durumlarda FV paneller cephelelerde kullanılabilir.

Güneş panel sistemlerinin cephe uygulamaları, çatı uygulamalarında söz konusu olmayan ve ek maliyet oluşturan ilave iskele ve güvenlik teçhizatı nedeniyle büyük olasılıkla daha pahalı olacaktır (Haroldson, 2017). Çalışma kapsamında kullanılan farklı yöntemler alt başlıklara bölünerek açıklanmalıdır.

### 2.2.1. Çatı Yüzeylerinde Fotovoltaik Panel Kullanılma Olanakları

Çatı yüzeylerinin kış mevsiminde kar ile örtülmesi, FV panellerin verimini düşürür. Gerek güneşlenme süresinin artması gerekse yağışın yüzeyden uzaklaşması gibi nedenlerle eğimli çatı yüzeyi; FV panellerin kullanımı için en uygun olan çatı tipidir. Çatı eğiminin yetersiz olduğu durumlarda profiller kullanılarak oluşturulan ek strüktür aracılığıyla FV paneller yeterli eğim ile yerleştirilebilirler. Türkiye’de PV panellerin yaz ve kış ortalamasına göre optimum yerleştirme açısı 30°’dir (Turhan ve Çetiner, 2012).

Çatılara kurulan FV paneller “çatıdan bağımsız kullanılan” ve “çatı yüzeyi ile bütünleşik (entegre)” olmak üzere 2 şekilde uygulanmaktadır



**Şekil 3.** Çatıda Ek Strüktür ile Uygulanan Fotovoltaik Paneller



**Şekil 4.** Çatı İle Bütünleşik Fotovoltaik Paneller

Çatıda ek strüktür ile uygulanan FV sistemler bu çalışmada “Çatı-1” olarak anılmıştır. Bu strüktürlü uygulama ile FV panel doğal havalanabilir olacağından aşırı ısınmadan kaynaklanabilecek verim kaybı kontrol altına alınmış olur. Öte yandan bu tür uygulamalarda kullanılan strüktür, çatıya ek yük bindirmektedir. Çatıda ek strüktür ile uygulanan FV sistemlerde (Çatı-1) genellikle kristal silisyum hücreli güneş panelleri kullanılır; elektrik üretim verimleri daha yüksektir.

Çatı ile bütünleşik kullanılan paneller, bu çalışmada “Çatı-2” olarak anılmıştır. Çatı ile bütünleşik kullanılan paneller, çatı düzlemi ile uyumlu görünüp; çatı kaplama malzemesi olarak kullanılabilirler. Bu tür FV paneller daha hafif olmalarından dolayı, yapıya eklenen yük daha az olacaktır. Diğer yandan, ince filmlerden oluşan çatı ile bütünleşik FV panellerin (solar halı gibi) verimleri, kristal silisyum hücrelerden oluşan çatıdan bağımsız kullanılan panellere kıyasla daha düşüktür. Çatı ile bütünleşik kullanılan panellerde havalandırma problemi bulunmaktadır. Doğal havalandırma ile FV panelin ısınmasının önüne geçilemeyebilir. Bu sistemin uygulanacağı binaların tasarımı sürecinde, bir soğutma veya havalandırma sisteminin de eklenmesi, aşırı ısınma kaynaklı verim kaybını da ortadan kaldıracaktır.

Çatı-2 uygulamalarında yağmur gibi atmosferik unsurlarda sızdırmazlık sorunları ile karşılaşılabilir.

### 2.2.2. Cephede FV Panel Kullanılma Olanakları

Tasarıma bağlı olmakla birlikte, bina kabuğunda cephe yüzeyi önemli bir alan tutabilir. Albedo (yerden ve bir yüzeyden yansıyan güneş ışığının miktarı) hesaba katılınca, cephede uygulanan güneş panellerinin, çatı panellerine kıyasla avantajlı olduğu görülecektir (Haroldson, 2017).

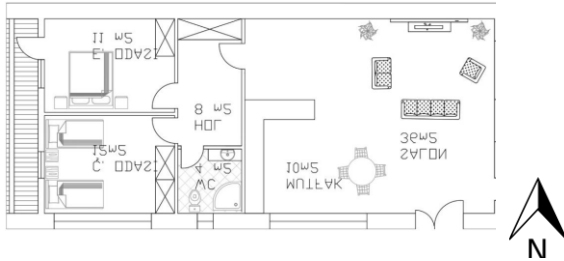
Gölgeleme yapan ağaç veya başka bina gibi unsurlar cepheleri çatılara oranla güneşlenme bakımından olumsuz etkiler. Mevsimlere göre güneş ışınlarının farklı açılarla dünyaya, dolayısıyla FV panel yüzeylerine ulaşması, FV panel verimliliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Diğer yandan, FV paneller cephede uygun eğimle konumlandırıldıklarında ve önlerine bina veya ağaç gölgeleri gelmediği sürece verimlilikleri düşmemektedir (bulutlar, nem gibi bölgenin hava koşulları hariç tutulmuştur).

FV panellerden oluşan cephe sistemlerinde paneller, modüler metal çerçeveler ile taşınarak ya da doğrudan binanın taşıyıcı sistemine yükleri aktararak uygulanır. Bu sistem ile FV paneller, giydirme cam cephe sistemi olarak binaya uygulanabildiği gibi binanın saydam yüzeyleri için de kullanılabilir. Bu tür uygulamalarda FV panelin iç mekan konforu ile ilgili ısı ve ışık geçirgenliği, mahremiyet gibi unsurlar önem kazanmaktadır. Diğer yandan bina ile FV panel arasındaki boşluktan hem havalandırma, hem de kabloların geçişleri sağlanmaktadır. Giydirme cephelerde FV panel kullanımında en önemli sorun fazla ısı kazanımıdır. Bir FV panelin ısınması halinde elektrik üretiminin azalmaması için panelde soğutmanın yapılması gerekmektedir. Bunları dikkate alarak tasarım halinde iken düşünmek ve olabilecek sorunları göz önüne almak gerekmektedir (Uçar, 2018).

Bu çalışma kapsamında, cephede modüler metal çerçeveler ile taşınarak uygulanan sistem “Cephe-1”; doğrudan binanın taşıyıcı sistemine yükleri aktararak, bina düşey kabuğu ile bütünleşik uygulanan sistem “Cephe-2” olarak anılmıştır.

### 2.3. Burdur İli Şartlarında Bir Konut İçin FV Panel Sistem Tasarımı

Bu çalışma kapsamında, ılıman bir bölge olan Burdur ilinde, 37°19'26.57"K 30°42'34.66"D konumunda, 90 m<sup>2</sup> alana sahip, 4 kişilik bir aile için, müstakil bir konut modellenmiştir. Konutun ortalama günlük enerji gereksiniminin karşılaması amacıyla, çatı ve cephelerde farklı sistemler ile uygulanacak FV sistemlerin enerji üretimlerinin karşılaştırılması yapılmaktadır.



Şekil 5. Hesaplamalar için baz alınan konut planı

Konutun çatısı, 82 m<sup>2</sup> alan büyüklüğünde, tek yüzeyle olarak, güney yönünde, 30° açı ile tasarlanmıştır. Böylece çatı yüzeyi temizliği için yağmur suyunun akışından yararlanılması, hem de güneş ışınlarının FV panellere dik açıyla en fazla gelebilmesi sağlanmıştır. FV panellerin çatıya uygulanmasında 2 farklı yöntem için (çatı ile bütünleşik kullanılan ve çatıda ek strüktür ile kullanılan) hesaplama yapılmıştır.

Konutun güney cephesi 63 m<sup>2</sup> olup, FV panel kullanılacağı düşünülerek pencere kullanılmamıştır. FV paneller konutun güney cephesinde 90° açı ile yerleştirilerek elektrik üretimleri incelenmiştir. FV panellerin cepheye uygulanmasında 2 farklı yöntem (ek strüktür ile kullanılan ve cephe ile bütünleşik kullanılan) ele alınmıştır.

FV sistemin verimliliği hesaplanırken, sıcaklık ve bulutlu günler nedeniyle olabilecek tahmini kayıplar, açılmalara etkilerine bağlı olarak tahmini kayıp, FV panelin sistem kaybı “PVGIS Estimation” (PVGIS – Interactive Maps, 2018) adlı program yardımı ile elde edilmiştir.



Şekil 6: Çatıda ek strüktür ile kullanılan FV panel uygulaması (Çatı-1)



Şekil 7: Çatı ile bütünleşik kullanılan FV panel uygulaması (Çatı-2)



Şekil 8: Cephede ek strüktür ile kullanılan FV panel uygulaması (Cephe-1)



Şekil 9: Cephe ile bütünleşik kullanılan FV panel uygulaması (Cephe-2)

**Çizelge 1:** Bir Konutun Elektrikli Eşyaları Ve Elektrik Enerjisi Gereksinimi Çizelgesi

Ürün	Tüketim (W)	Çalışma Süresi (Saat)	Haftalık Kullanım (Defa)	Haftalık Kullanım (Wh)
Buzdolabı	26	24	7	4368
Klima	600	5	7	21000
Elektrik Süpürgesi	900	0,5	3	1350
Televizyon	65	4	7	1820
Bilgisayar	75	3	7	1575
Çamaşır Makinesi	196	2	1	392
Ütü	1000	1	1	1000
Saç Kurutma Makinesi	2000	0,2	3	1200
Aydınlatma (3 Adet)	60	5	7	2100
Fırın	1300	1,5	2	3900
Bulaşık Makinesi	290	2,5	2	1450
<b>Toplam</b>				<b>40155</b>

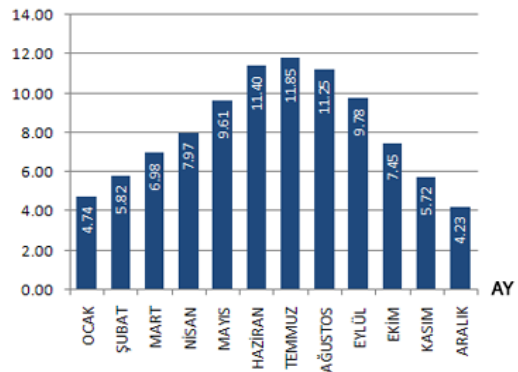
**Kaynak:** ([http://www.enerjihesapla.com/#enerji\\_hesap\\_dcev](http://www.enerjihesapla.com/#enerji_hesap_dcev), 2018) (<https://www.ckbogazici.com.tr/tr/tuketim-hesaplama>, 2018)

Konutun günlük enerji kullanımı haftanın her gününde farklılık gösterebilir. Bu nedenle çalışmada, haftalık toplam enerji kullanımı belirlendikten sonra, bir günlük ortalama enerji kullanımı belirlenmiştir. Çizelge 1’de bir konutun haftalık enerji ihtiyaç değerleri yer almaktadır. Elektrikli eşyaların seçiminde A++ enerji sınıfı tercih edilmiştir.

**Çizelge 2:** Kullanılan FV panelin özellikleri

Maksimum Güç (Pmax)	280Wp
Modül Verimliliği (%)	17,08
Maksimum Güç Gerilimi (Vmp)	32,9
Maksimum Güç Akımı (Imp)	8,52
Açık Devre Gerilimi (Voc)	38,7
Kısa Devre Akımı (Isc)	9,24
Güç Toleransı	0~+5W
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	-40 - +85 °C
Sıcaklığa Katsayısı Isc	0.05 % /°C
Sıcaklığa Katsayısı Voc	-0.29 % /°C
Sıcaklığa Katsayısı Pmax	-0.39 % /°C
Hücre Tipi (mm)	156,75 x 156,75
Hücre Sayısı	60 (6 x10)
Ağırlık (kg)	13
Maksimum Boyut (mm)	1648 x 995 x 35

Çizelge 1’e göre haftalık elektrik kullanımı 40,155 Wh değerine ulaşılmaktadır. Bu durumda günlük enerji kullanımı =  $40155/7 \approx 5736$  Wh olarak belirlenmiştir. FV panel sayısı, 280 W gücünde kristal silisyum hücreli FV panellerin kullanımına göre belirlenmiştir. Aylara göre Burdur ilinin güneşlenme süreleri incelenmiş olup en düşük güneşlenme süresi, 4,23 saat ile aralık ayına ait olup, bu nedenle pik güneşlenme süresi (PSH) 4,23 saat kabul edilmiştir (Şekil 10).

**GÜNEŞLENME SÜRESİ (SAAT)****Şekil 10.** Burdur ili yıl boyu güneşlenme süreleri

Kaynak: (BAKA, 2011)

Dolayısıyla daha uzun güneşlenme süresinin olduğu dönemler, gereksinimden fazla üretilen enerjinin şebekeye verileceği; bulutlu gün sayısının fazla olduğu ve enerji gereksiniminin arttığı durumlarda şebekeden enerji alınacağı düşünülmüştür.

FV sistemlerde üretilen gücün tamamı yüke aktarılamaz. Sistemde kullanılan cihazların verimliliklerine bağlı olarak enerji kaybı meydana gelir. Bundan dolayı üretilen hesabın da bu enerji kaybı dikkate alınması gerekir (Alkan vd., 2014).

Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalar için güneş panelinin verimliliği ( $\eta_{pv}$ ) “PVGIS Estimation” (PVGIS – Interactive Maps, 2018) adlı program yardımı ile elde edilmiştir. Binada uygulaması incelenecek 4 farklı FV sistem uygulaması için panel sayısı hesaplanmıştır. Üretilmesi gereken enerji Denklem 1; panel sayısının belirlenmesi ise Denklem 2 ile belirlenmiş; değerler Çizelge 3’te sunulmuştur.

$$\text{Günlük Enerji İhtiyacı} = \text{Üretilmesi Gereken Enerji} * \eta_{\text{sistem}} \quad (1)$$

$$\text{Panel Sayısı} = \frac{\text{Üretilmesi Gereken Enerji}}{\text{Bir panelin Gücü} * \text{PSH}} \quad (2)$$

**Çizelge 3:** FV sistem için sistem verimleri, üretilmesi gereken güç değerleri ve uygulanacak panel sayıları

	Çatı-1	Çatı-2	Cephe-1	Cephe-2
$\eta_{\text{sistem}}$	%75,1	%71	%75,2	%72,2
Günlük enerji ihtiyacı (Wh-gün)	5736	5736	5736	5736
Üretilmesi gereken enerji (Wh-gün)	7637,81	8078,87	7627,65	7944,59
Panel sayısı	7	7	7	7
FV sistemin nominal gücü (kristal silisyum) Kw			2,0	
Sıcaklık ve düşük ışınlanma nedeniyle tahmini kayıplar	%10,4	%15,2	%7,4	%10,9
Açısal yansımaya etkileri nedeniyle tahmini kayıp	%2,6	%2,6	%6	%6
Diğer kayıplar (kablo, invertör vb.)			%14	
Bütünleşik FV sistem kaybı	%24,9	%29	%25,2	%28

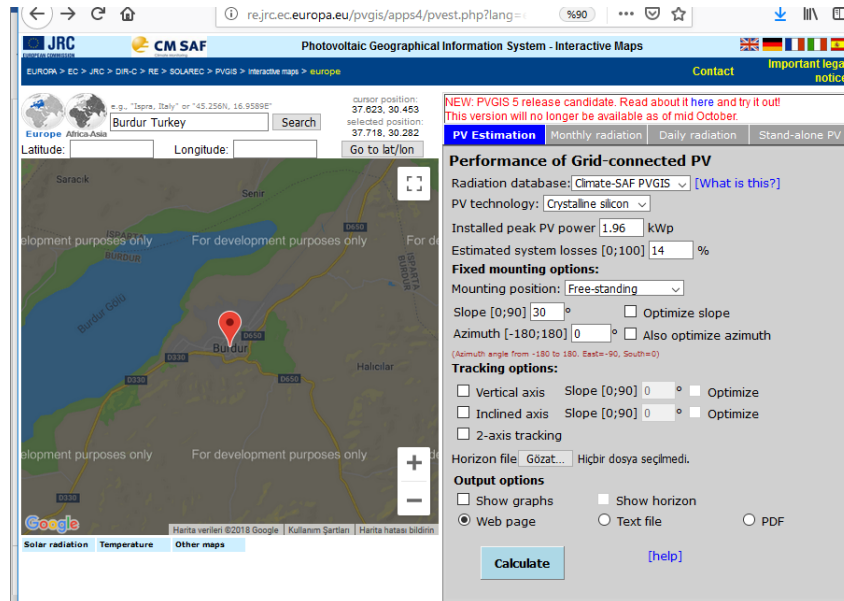
**Çizelge 4:** FV panellerin bina kabuğuna farklı uygulamalarındaki alan, çevre ve ek yük

	Çatı-1 (7 panel)	Çatı-2 (7 panel)	Cephe-1 (7 panel)	Cephe-2 (7 panel)
FV panelin uygulanacağı bina yüzeyinin büyüklüğü (m <sup>2</sup> )	82	82	63	63
FV panellerin kaplayacağı alan (m <sup>2</sup> )	12,74	11,34	12,74	11,34
FV panellerin kaplayacağı alanın çevresi (m)	17,76	17,76	16,20	16,20
FV panellerin bina yüküne etkisi (kg)	136,5	91	136,5	91



**Çizelge 5:** Farklı uygulamalarda FV panellerin elektrik üretimleri ve güneş ışınımları

Ay	Sistemin Verdiği Günlük Ortalama Elektrik Üretimi (kWh)				Sistemin Verdiği Aylık Ortalama Elektrik Üretimi (kWh)				Ortalama Aylık Güneş Işınımı (kWh/m <sup>2</sup> )	
	Çatı-1 (7 panel)	Çatı-2 (7 panel)	Cephe-1 (7 panel)	Cephe-2 (7 panel)	Çatı-1 (7 panel)	Çatı-2 (7 panel)	Cephe-1 (7 panel)	Cephe-2 (7 panel)	30° eğim için	90° eğim için
Ocak	4,90	4,65	4,80	4,55	152	144	149	141	96,2	94,0
Şubat	6,20	5,85	5,47	5,20	173	164	153	146	112	97,4
Mart	8,22	7,75	5,95	5,71	255	240	184	177	168	120
Nisan	8,63	8,15	4,66	4,52	259	244	140	136	173	95,4
Mayıs	9,35	8,82	3,59	3,51	290	274	111	109	200	82,5
Haziran	10,20	9,67	2,92	2,87	307	290	87,7	86,2	216	69,7
Temmuz	10,50	9,87	3,15	3,08	324	306	97,6	95,6	232	78,2
Ağustos	10,40	9,80	4,51	4,38	322	304	140	136	231	105
Eylül	9,64	9,07	6,20	5,97	289	272	186	179	203	131
Ekim	7,82	7,38	6,56	6,26	242	229	203	194	163	135
Kasım	6,55	6,20	6,49	6,16	196	186	195	185	129	127
Aralık	4,68	4,44	4,77	4,50	145	138	148	139	92,9	94,7
Yıllık Ort.	<b>8,10</b>	<b>7,65</b>	<b>4,92</b>	<b>4,72</b>	<b>246</b>	<b>233</b>	<b>150</b>	<b>144</b>	168	103
Toplam					<b>2960</b>	<b>2790</b>	<b>1790</b>	<b>1720</b>	<b>2020</b>	<b>1230</b>

**Şekil 11.** PVgis Calculator web sayfasında Çatı-1 hesaplaması**Kaynak:** PVGIS – Interactive Maps, 2018

Bina çatı ve cephesindeki farklı uygulamalar için panellerin tutabilecekleri alan ve panellerin bina yüküne etkisi Çizelge 4’te yer almaktadır.

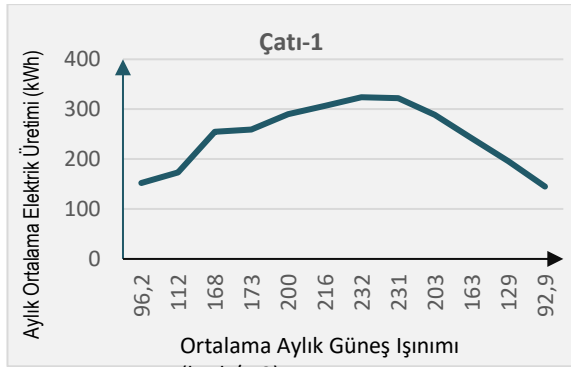
Çalışma kapsamında değerlendirilen çatı ve cephede uygulanan FV panellerin yıl boyunca ortalama aylık

elektrik enerjisi üretimi “PVgis Calculator” (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> 2018) programından yararlanılarak belirlenmiş ve Çizelge 5’te sunulmuştur. Hesaplamalarda azimut, panelin yere dik normal düzlemi ile güney ekseninin aralarında yaptığı açı olarak 0° alınmıştır.

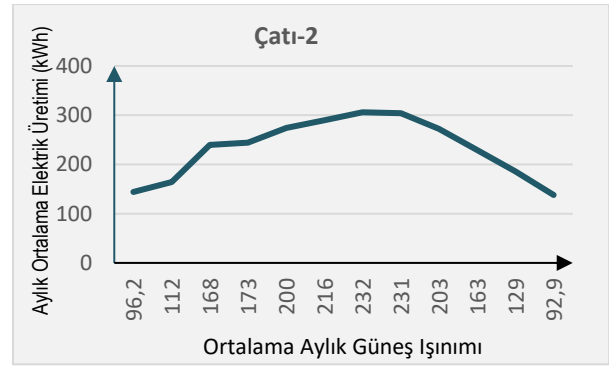
### 3. Bulgular ve Değerlendirme

Çalışma kapsamında ele alınan 4 farklı uygulama alternatifinde, söz konusu konutun enerji gereksinimini karşılayacak panel sayılarında farklılık görülmemiştir. Bu nedenle, panellerin bina kabuğundaki konumu ve dolayısıyla açıları, bina kabuğuna uygulanma şekillerinin verimlilikleri üzerine etkilerinin belirlendiği söylenebilir.

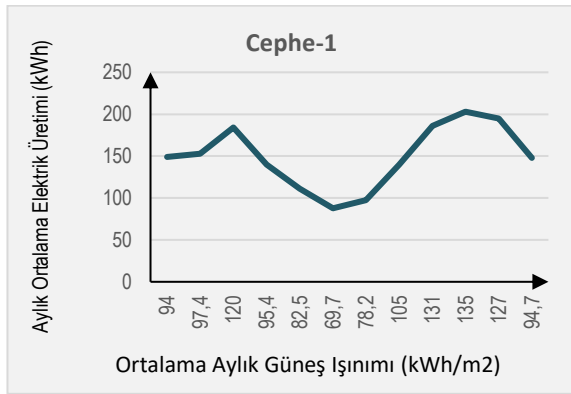
Çatıda FV panellerin ek yapı ile uygulanmasında panellerin binaya eklediği yük miktarı yaklaşık 136,5 kg iken çatı yüzeyi ile bütünleşik olarak uygulanan sistemlerde yaklaşık 91 kg'dır. Her dört uygulamada da panel sayılarının eşit olmasına karşın yapılandırılmış uygulamalardaki çatı/ cephe yüzeyindeki alan, paneller arasındaki derz mesafesi nedeniyle bütünleşik uygulamalardan %12 civarında daha fazladır.



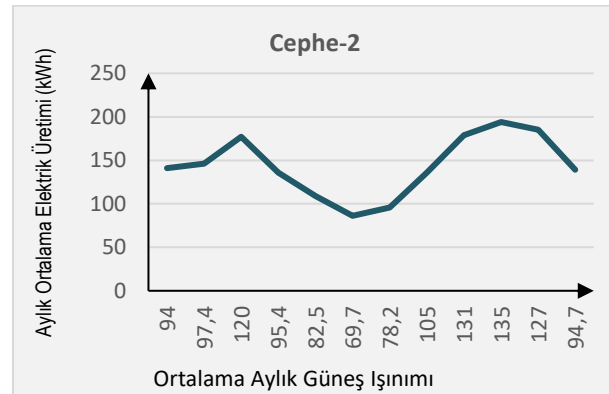
(a)



(b)



(c)



(d)

**Şekil 12.** a) Çatı-1 uygulamasının aylık elektrik üretimi ve panel yüzeyindeki ortalama aylık güneş ışınımı ilişkisi.

b) Çatı-2 uygulamasının aylık elektrik üretimi ve panel yüzeyindeki ortalama aylık güneş ışınımı ilişkisi

c) Cephe-1 uygulamasının aylık elektrik üretimi ve panel yüzeyindeki ortalama aylık güneş ışınımı ilişkisi

d) Cephe-2 uygulamasının aylık elektrik üretimi ve panel yüzeyindeki ortalama aylık güneş ışınımı ilişkisi .

Çizelge 5'te görüleceği üzere, Çatı-1 yıl boyunca günlük ortalama 8,10 kWh, aylık ortalama 246 kWh enerji üretimi ile çalışma kapsamındaki alternatifler arasında en yüksek enerji sağlayan uygulama olmuştur.

Bu sistemin temmuz ayında 10,50 kWh ile en yüksek günlük, 324 kWh ile en yüksek aylık ortalama enerji üretimi yapabileceği belirlenmiştir. Bu sistem yıl boyunca en düşük üretimi aralık ayında günlük 4,68

kWh ve aylık 145 kWh ortalama enerji ile gerçekleştireceği görülmektedir. Veriminin en düşük olduğu aralık ayı dışında Çatı-1'in yıl boyu diğer alternatiflerden daha yüksek enerji sağladığı söylenebilir. Çatı-1, çalışma için belirlenmiş olan ortalama günlük enerji gereksinimi olan 5,736 kWh enerjii aralık ve ocak ayları haricinde tüm yıl karşılayabilmektedir. Çatı-1'deki en yüksek enerji üretiminin olduğu temmuz ayında, 30° eğimli yüzeyde aylık güneş ışınımının da en yüksek; en düşük olduğu aralık ayında ise aylık güneş ışınımının da en düşük değerlerde olduğu görülmektedir (Şekil 12 a).

Çatı-2, yıl boyunca günlük ortalama 7,65 kWh, aylık ortalama 233 kWh enerji üretimi ile çalışma kapsamındaki alternatifler arasında ikinci verimli uygulama olmuştur. Çatı-2'nin temmuz ayında 9,87 kWh ile en yüksek günlük, 306 kWh ile en yüksek aylık ortalama enerji üretimi yapabileceği belirlenmiştir. Bu sistem yıl boyunca en düşük üretimi aralık ayında günlük 4,44 kWh ve aylık 138 kWh ortalama enerji ile gerçekleştireceği görülmektedir. Çatı-2, çalışma için belirlenmiş olan ortalama günlük enerji gereksinimi olan 5,736 kWh enerjii aralık ve ocak ayları haricinde tüm yıl karşılayabilmektedir. Çatı-1'deki en yüksek enerji üretiminin olduğu temmuz ayında, 30° eğimli yüzeyde aylık güneş ışınımının da en yüksek; en düşük olduğu aralık ayında ise aylık güneş ışınımının da en düşük değerlerde olduğu görülmektedir (Şekil 12 b).

Cephe-1, yıl boyunca günlük ortalama 4,92 kWh, aylık ortalama 150 kWh enerji üretimi ile çalışma kapsamındaki alternatifler arasında üçüncü verimli uygulama olmuştur. Cephe-1'in ekim ayında 6,56 kWh ile en yüksek günlük, 203 kWh ile en yüksek aylık ortalama enerji üretimi yapabileceği belirlenmiştir. Bu sistem yıl boyunca en düşük üretimi haziran ayında günlük 2,92 kWh ve aylık 87,7 kWh ortalama enerji ile gerçekleştireceği görülmektedir. Cephe-1, çalışma için belirlenmiş olan ortalama günlük enerji gereksinimi olan 5,736 kWh enerjii mart, eylül, ekim ve kasım

aylarında karşılayabilmekte; diğer aylarda şebekeden takviye alması gerekmektedir. Cephe-1'deki en yüksek enerji üretiminin elde edildiği mart, eylül, ekim ve kasım aylarında, 90° eğimli yüzeyde aylık güneş ışınımının da en yüksek; en düşük olduğu haziran ayında ise aylık güneş ışınımının da en düşük değerlerde olduğu görülmektedir (Şekil 12 c).

Cephe-2 yıl boyunca günlük ortalama 4,72 kWh, aylık ortalama 144 kWh enerji üreterek, alternatifler içinde en düşük verimli uygulama olmuştur. Cephe-2'den en yüksek verim, günlük ortalama 6,26 kWh, aylık ortalama 194 kWh enerji üretilen ekim ayı olarak belirlenmiştir. Bu sistem yıl boyunca en düşük üretimi haziran ayında günlük 2,87 kWh ve aylık 86,2 kWh ortalama enerji ile gerçekleştireceği görülmektedir. Cephe-2, çalışma için belirlenmiş olan ortalama günlük enerji gereksinimi olan 5,736 kWh enerjii eylül, ekim ve kasım aylarında karşılayabilmekte; diğer aylarda şebekeden takviye alması gerekmektedir. Cephe-2'deki en yüksek enerji üretiminin elde edildiği mart, eylül, ekim ve kasım aylarında, 90° eğimli yüzeyde aylık güneş ışınımının da en yüksek; en düşük olduğu haziran ayında ise aylık güneş ışınımının da en düşük değerlerde olduğu görülmektedir (Şekil 12 d).

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında Burdur ili koşulları ile düşünülmüş, 4 kişilik, tek katlı bir konutun çatı ve cephesinde kullanılan FV panellerin elektrik üretimi ele alınmıştır. Ek strüktür yardımı ile çatıdan bağımsız kullanılan (Çatı-1); örtü malzemesi halinde çatı sistemi ile bütünleşik olarak kullanılan (Çatı-2); ek strüktür yardımı ile cepheden bağımsız kullanılan (Cephe-1); cephe kaplaması halinde cephe ile bütünleşik olarak kullanılan (Cephe-2) olmak üzere, bina kabuğunda 4 farklı şekilde FV panel yerleşmesi incelenmiştir. Ek strüktür ile çatıda uygulanan FV sistemin en yüksek enerji ürettiği tespit edilmiştir.

Güneş ışınlarının FV panel yüzeyine dik gelmesinin FV panelin verimliliğini artırdığı bilinmektedir. Çatı yüzeylerinde FV panellerin mevsime bağlı olarak güneş ışınlarının geliş açısına göre konumlandırılabilmesi, verimliliği olumlu etkileyecektir. FV panellerin 10°-30° arasında eğim ile konumlandırılması, yıl boyu güneş ışınlarının geliş açısı bakımından verimliliği artırmasının yanı sıra, panel yüzeyinde birikebilecek toz, yaprak gibi verimi düşürebilecek unsurların yağmur suları ile temizlenmesine yardımcı olur; kar yağışında ise panel yüzeyinde kar birikmesini güçleştirir.

Çatı yüzeylerinin görünürlüğünün cepheye göre daha az olmasından ötürü çatı uygulamalarının mimari tasarım açısından daha az kısıtlama getirdiği söylenebilir.

Bir cepheye FV panel uygulama kararının binanın tasarımı aşamasında verilmesi yararlıdır. Mevcut bina kabuğuna sonradan uygulanacak FV paneller, cephe bütünlüğünün bozulmasına neden olabilir. Opak veya saydam alternatifleri olan FV panellerin cephede kullanımında mekanın gün ışığı gereksinimi kontrol edilebilir. Diğer yandan, FV panellerin binanın güney cephesinin tasarımını kısıtlayıcı bir etkisi olduğu söylenebilir.

Hava sıcaklığının 40 derece olduğu durumda FV panellerin sıcaklığı 85 dereceye kadar çıkabilmektedir (Uçar, 2018). Bu durum, FV panel uygulanacak cephelelerin bina kullanımında geçiş alanı olmamasını gerektirir. Ayrıca, panellerin yüzey sıcaklıklarının artması, fotovoltaik mekanizmasını olumsuz etkileyerek verimi düşürür. Cepheye strüktür ile uygulanan FV panellerin arkalarındaki boşlukta gerçekleşecek hava sirkülasyonu, panel yüzey sıcaklığının düşmesine yardımcı olarak verim kaybını azaltabilir veya önüne geçebilir. Cepheye uygulanan FV panellerin arkalarında yeterli boşluk olmaması ya da panellerin bütünleşik sistem ile uygulanmış olması durumunda ise, soğutucu fan kullanılarak FV panel

yüzeylerinin aşırı ısınmasının önüne geçilebilir. Ancak bu durumda binanın soğutma amaçlı enerji tüketimi de artmış olacaktır. FV panellerin yüzey sıcaklıklarının yükselmemesi/ düşürülmesi için alınabilecek önlemlerden bir başkası ise, jüt bitkisinin liflerinden örülen dokumanın panel yüzeylerine serilmesidir. %25-%75 arasında farklı ışık geçirgenliğine sahip jüt türlerinin temmuz-ağustos aylarında kullanılması, panellerin aşırı ısınmasını engeller ancak, enerji üretimlerini de azaltır.

Bir binanın kullanım ömrü, birçok unsura bağlıdır; FV panellerin yaklaşık ömürleri 25-30 yıl kadar kabul edilebilir. Bina ömrünün FV panel ömründen uzun olacağı açıktır. Bu nedenle, FV panel uygulanmış binalarda, paneller ömürlerini tamamladıktan sonra özellikle cephele için yeni düzenlemeler yapılması kaçınılmaz olacaktır.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Bilimsel çalışmamız ile kişisel durumumuz arasında potansiyel veya mevcut bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Kaynaklar

ALKAN, S., ÖZTÜRK, A., ZAVRAK, S., TOSUN, S., & AVCI, E. (2014). Bir Evin Elektrik Enerjisi İhtiyacını Karşılacak Fotovoltaik Sistem Kurulumu. *Elektrik- Elektronik- Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*. Bursa.

ALTUNTOP, N., & ERDEMİR, D. (2013). Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerjisi ile İlgili Gelişmeler. *Mühendis ve Makine*, 54(639), 69-77.

BAKA. (2011). *Güneş Enerjisi Sektör Raporu*. Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı, Antalya. 04 17, 2018 tarihinde <http://baka.org.tr/uploads/1303486512GUNES-TURKCE-KATALOG.pdf> adresinden alındı

BOZTEPE, M. (2018, Mayıs 20). [http://www.emo.org.tr/ekler/65eb10e64749410\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/65eb10e64749410_ek.pdf)

ÇELEBİ, G. (2002). Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri. *Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der.*, 17(3), 17-33.

- ETKB. (2015). <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/tgunes.html>. Mart 04, 2015 tarihinde Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Güneş Enerjisi Potansiyeli. adresinden alındı
- HAROLDSON, C. (2017, july 31). *Wall-Mounted Solar: A Rising Trend or Barely Hanging on*. Mayıs 2018 tarihinde <https://www.solarpowerworldonline.com/2017/07/wall-mounted-solar-trend/>. adresinden alındı
- [http://www.enerjihesapla.com/#enerji\\_hesap\\_dcev](http://www.enerjihesapla.com/#enerji_hesap_dcev). (2018, nisan).
- <https://www.ckbogazici.com.tr/tr/tuketim-hesaplama>. (2018, nisan).
- <https://www.dunyaenerji.org.tr/>. (2009). Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi. adresinden alındı
- ÖZSOY, A. (2015). Güneş Enerjisinin Isıtma Amaçlı Mevsimlik Depolanması ve Isı Pompası Destekli Kullanımı. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 54-59.
- Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps. (2018, mayıs 20). <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe>.
- TURHAN S., ÇETİNER. İ. (2012). Fotovoltaik Sistemlerde Performans Değerlendirmesi. 6. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*. Bursa.
- UÇAR, S. (2018). *Çatı ve Cephelerde Fotovoltaik Panel Uygulamaları Üzerine Bir Çalışma: Burdur Örneği*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- ZENGİN, E. (2018, mayıs 10). [http://www.emo.org.tr/ekler/6498f1f48b54a20\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/6498f1f48b54a20_ek.pdf).

## BİLİŞİM ALTYAPILARI İÇİN AÇIK KAYNAK KODLU VERİ KAYIT VE GÖZLEM YAZILIMI

Doğan BAŞARAN<sup>1\*</sup> , Burak TÜYSÜZ<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Rize, Türkiye

<sup>2</sup> Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Rize, Türkiye

### Makale Künye Bilgisi:

Başaran, D., & Tüysüz, B. (2018). Bilişim altyapıları için açık kaynak kodlu veri kayıt ve gözlem yazılımı. *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2), 77-87.

### Öneçikanlar

- Yapılandırma dosyası kullanılarak kaynak kod üzerinde değişiklik yapılmadan yazılım sistemlerine ve One-Wire sensörelere adapte edilebilir.
- Yapılandırma dosyasına göre veri tabanı dosyaları ve web ara yüzü otomatik bir şekilde oluşur ve güncellenir.
- Yapılandırma dosyasında yapılan değişiklikler otomatik olarak kullanıcıya yansıtılır.

Makale Bilgileri	Öz
<b>Makale Tarihiçesi:</b> Geliş: 07 Nisan 2018 Kabul: 29 Kasım 2018	Veri kaydediciler kullanıcılar tarafından ihtiyaç duyulan türde verilerin gözlemlenmesini ve kayıt altında tutulmasını sağlayan cihazlardır. Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte sıcaklık, nem ve benzeri fiziksel parametrelerden etkilenen sistemlerin hem takip edilebilmesi hem de verimlilik güncellemelerinin yapılabilmesi için bu gibi yazılım ve cihazlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada bilişim teknolojilerinde kullanılan işlem yükü fazla olan sistemler için sıcaklık kaynaklı periyodik verimsizliklerin belirlenmesi, giderilmesi ve verimlilik güncellemelerinin yapılabilmesi amacıyla tasarlanan açık kaynak kodlu OpenTEMP yazılımının yapısı anlatılmıştır. Geliştirilen yazılımda test aşamasında kullanılacak fiziksel veri sıcaklık olarak belirlenmiştir ve testler bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir. Yazılım, sunucuların ve buldukları ortamın iç-dış sıcaklıklarını kayıt altında tutmak ve gözlemek amacıyla geliştirilmiştir. Bilişim altyapılarının denetlenmesi için açık kaynak kodlu veri kayıt ve gözlem yazılımı sisteminin kullanıcı arayüzünü bir web sayfası oluşturmaktadır. Bu makalede geliştirilen OpenTEMP sisteminin donanım ve yazılım bileşenleri tanıtılmış, operasyon aşamaları anlatılmıştır.
<b>Anahtar Kelimeler:</b> veri kaydedici; açık kaynak kodlu bilişim teknolojileri; web tabanlı.	

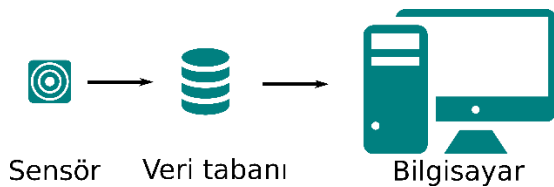
## OPEN SOURCE CODED DATA RECORDING AND OBSERVATION SOFTWARE FOR CONTROLLING INFORMATICS INFRASTRUCTURE

Article Info	Abstract
<b>Article History:</b> Received: April 07, 2018 Accepted: November 29, 2018	Data logger devices allow users to observe and record types of data. In order to be able to keep track of the systems, which are affected by temperature, humidity, and similar physical parameters and to be able to update the productivity, this kind of data is needed. In this study, OpenTEMP, an open source data recording, and observation software have been developed in order to carry out instantaneous and historical follow up of physical data. The physical data to be used in the developed system is determined as temperature. The system is programmed to observe and record the inside and outside temperatures of a server room. The user interface of the developed open-source data logger system is web-based. In this article, the components of the OpenTEMP system are introduced and the operation steps are explained.
<b>Keywords:</b> data logger; open source information technologies; web based.	

## 1. Giriş

İçinde bulunduğumuz bilgi çağında bilişim teknolojilerinin hızla gelişmesi ve kullanım alanlarının yaygınlaşmasıyla birlikte yüksek maliyetli donanımların kullanım alanları da genişlemiştir. Bu donanımların performansı ve güvenliği ise fiziksel koşullardan olumsuz etkilenebilmektedir (Senyk, 2002). Fiziksel koşulların olumsuz etkilerine örnek olarak sıcaklık sınır değerinde çalışan cihazların kullanım ömürlerinin azalması ve performans kayıplarının yaşanması verilebilir. Bu gibi durumlarda bilişim altyapılarında verimsizleşme oluşması muhtemeldir (Karabük Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanlığı). Ayrıca bu durum veri kaydedici sistemlerinin maliyetleri yüksek donanımlardan uzun süre faydalanmak için büyük önem taşıdığını da göstermektedir.

Veri kayıt sistemleri genellikle bağımsız veya donanım üzerine yerleştirilmiş sensörlerden elde edilen verilerin kaydedilmesi ve daha sonra kullanıcı tarafından kontrol edilebilmesini sağlar (Aydın vd., 2005). Basit bir veri kaydedici yapısı Şekil 1'de olduğu gibi gösterilebilir.



**Şekil 1.** Basit bir veri kaydedici sisteminin yapısı.

Şekilde görülebileceği gibi sistem; verileri sağlayan sensör(ler), verilerin kaydedilmesi için gerekli veri tabanı ve bu verilerin kontrolü için gerekli bir bilgisayardan oluşmaktadır. Bu yapı ihtiyaçlar doğrultusunda farklı şekillerde değiştirilerek kullanılabilir.

Literatürde farklı amaçlar için geliştirilen birçok veri kaydedici için çalışmalar mevcuttur (Badhiye vd., 2011). Fuentes vd. tarafından geliştirilen Arduino tabanlı bir veri kaydedici fotovoltik parametrelerin

kaydedilmesi için kullanılmıştır (Fuentes vd., 2014). Geliştirilen sistemde sınırlı sayıda analog ve sınırsız sayıda dijital sensör kullanılabilir. Sensörlerden toplanan veriler ise daha sonra incelenmek üzere bir hafıza modülüne kaydedilmektedir. Akyıldız vd. tarafından yapılan bir çalışmada ise yer altına yerleştirilerek toprağın özelliklerini kaydeden bir yer altı sensör ağının oluşturulmasının önündeki zorluklar irdelenmiştir (Akyıldız ve Erich, 2006). Önerilen yaklaşımda sensörlerin tamamının yer altında olması ve yeryüzünde herhangi bir kablo bağlantısı olmaması gereksinimi vurgulanmıştır. Kumar vd. tarafından ise binalarda enerji verimliliğini ölçmek için 4 kanallı bir veri kaydedici geliştirilmiştir (Kumar vd., 2010). Geliştirilen sistem donanım tabanlı olup veriler daha sonra erişilmek üzere cihaz üzerinde bulunan EEPROM hafızasına kaydedilmektedir. Uygulama tasarımı sırasında belirtilen sınırlı sayıda analog sensör ile kullanılabilir. Bir başka uygulamada Gurav vd. elektrik saatlerinin verilerinin kaydedilmesi ve kablosuz olarak iletilmesi için Zigbee tabanlı bir sistem geliştirmiştir (Gurav vd., 2016). Sistem sınırlı sayıda analog sensörle kullanılabilir. Geliştirilen cihaz 3 dakika aralıklarla verileri bilgisayara kablosuz ağ üzerinden göndermektedir. Bu yaklaşım özellikle oluşturduğu elektromanyetik alan sebebiyle bilişim altyapılarında ve sunucu odalarında kullanılamaz. Aynı zamanda duvar kalınlıklarının arttığı durumlarda kablosuz ağda mesafe düşümü yaşanabileceği gibi bağlantı sorunları da ortaya çıkabilir.

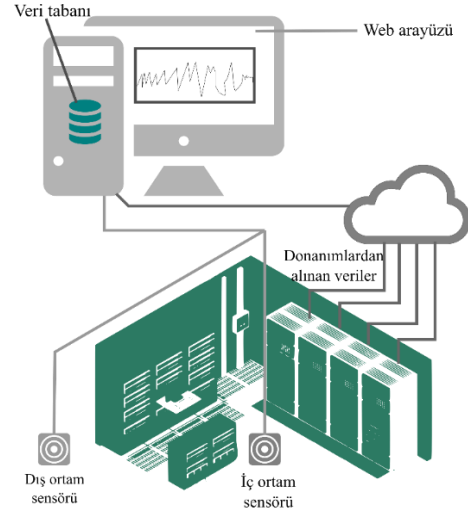
Literatürde bulunan birçok benzer uygulamadaki eksiklikler ve sistem kazancını düşüren olumsuzluklar irdelenmiştir. Ayrıca yapılan incelemeler sonucunda bu amaçla kullanılacak mevcut ticari yazılımlar ve donanımların maliyetlerinin fazla olduğu görülmüştür (Canan vd., 2015)(Bekleyen vd., 2014). Bu doğrultuda One-Wire teknolojisi kullanarak tek bir hat üzerinde birden çok sensör ile ortam sıcaklık ölçümü yapabilen, sunucuların merkezi işlem birimi çekirdek sıcaklıklarını kaydeden ve bu verileri gerçek zamanlı

olarak bir web sunucu üzerinden grafiklerle yayınlayan esnek, ekonomik ve açık kaynak kodlu bir veri kayıt ve gözlem yazılımı olan OpenTEMP geliştirilmiştir. Sistemin topladığı veriler ile oluşturulan günlük, haftalık, aylık ve yıllık grafikler bir web sunucu ile servis edilmekte ve uzaktan izlenebilmektedir. Ayrıca sisteme yeni sensörlerin entegrasyonu yapılandırma dosyası ile kolaylıkla yapılabilmekte ve sunucu kullanıcı bilgileri ve çekirdek sayısı girilerek farklı sunucular takip edilebilmektedir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada bilişim altyapısı bulunan kurumlarda sunucularının işlemci sıcaklıklarının ve sunucu odalarının ortam sıcaklıklarının takibi ve grafiksel gösterimi için açık kaynak kodlu bir veri kaydedici ve gözlem yazılımı geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım sayesinde maliyeti yüksek sunucu odaları ve bu odada bulunan sistemlerin gerçek zamanlı olarak sıcaklık takibi mümkün olmaktadır. Aynı zamanda bu sıcaklıklar günlük, haftalık, aylık ve yıllık grafikler ile kullanıcıya sunulmaktadır. Böylece operatörler grafiklerden faydalanarak olası soğutma problemlerini maliyeti yüksek etkiler yaratmadan tespit edebileceklerdir. Önerilen yazılımın açık kaynak kodlu olması ve esnek yapısı ise kolaylıkla farklı sistemler ve sistem odaları için uyarlanabilmesini sağlamaktadır.

Şekil 2’de sistemin temel bileşenleri olan; iç ortam sıcaklık verileri, dış ortam sıcaklık verileri, sunuculardan alınan sıcaklık verileri, veri tabanı ve web arayüzü görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi sistemde veri kaynağı olarak iç/dış ortam sıcaklık sensörleri ve sunucu donanımlarının merkezi işlem birimleri üzerinde bulunan mevcut sensörler kullanılmıştır. Bu kaynaklardan alınan verilerin veri tabanına kayıt edilmesi ve elde edilen veriler kullanılarak günlük, haftalık, aylık ve yıllık olarak



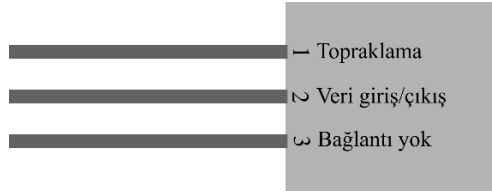
Şekil 2. Geliştirilen açık kaynak kodlu veri kayıt ve gözlem yazılımının şeması.

oluşturulan grafiklerin web arayüzünde görüntülenmesi sağlanmıştır. Bu aşamalar bölüm içinde alt başlıklar halinde incelenmiştir

### 2.1. Ortam Sıcaklıklarının Alınması

Ortam sıcaklık verilerinin alınması için One-Wire teknolojisi ile çalışan DS18B20 sıcaklık sensörleri kullanılmıştır (DS18B20). Bu sensörler düşük hata payı ve olumsuz fiziksel şartlara karşı olan direnci nedeniyle termostatik kontrol sistemleri, endüstriyel sistemler, termometreler ve termal duyarlılığı olan diğer sistemlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Sensörler  $-55^{\circ}\text{C}$  ile  $+125^{\circ}\text{C}$  sıcaklık aralığında çalışabilmektedir ve  $-10^{\circ}\text{C}$  ile  $+85^{\circ}\text{C}$  sıcaklık aralığında  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  hata payı ile sıcaklık verileri sağlamaktadır. Bu nedenlerden dolayı iç ve dış ortam sıcaklık verilerinin elde edilmesi için kullanılmaları uygun görülmüştür. Bunlara ek olarak maliyetinin uygun olması ve özel kimlik bilgileri sayesinde tek bir kablo hattı üzerinde birden fazla sensörün kullanılabilmesi en önemli avantajlarından (Albayrak vd., 2013). Kullanılan sensörün yapısı Şekil 3’te gösterilmiştir. Şekilde görülebileceği gibi 3 bacaklı olarak kullanılan sensörde ortadaki bacak veri giriş/çıkışı için kullanılmaktadır. Diğer bacaklardan birisi topraklama için kullanılmakta ve 3. bacak boş bırakılmaktadır.





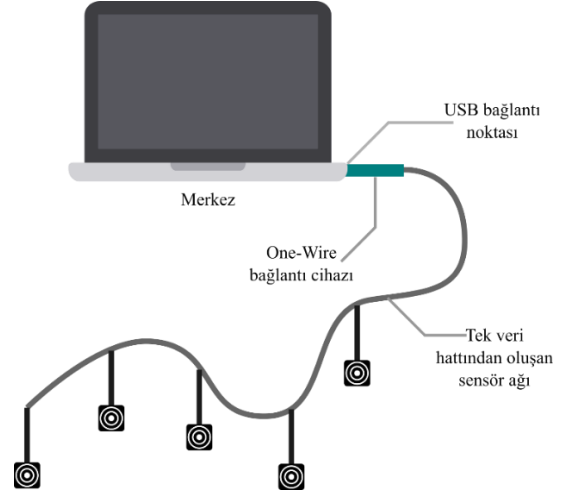
**Şekil 3.** Kullanılan DS18B20 sensörünün bağlantı yapısı.

DS18B20 sensörlerinden alınan sıcaklık verilerinin merkeze iletilmesi için tek bir kablo hattı ve kullanılan veri hattının OpenTEMP sisteminin çalışacağı bilgisayara bağlantısı için DS9490R USB/One-Wire dönüştürücü kullanılmıştır. Kullanılan bu dönüştürücü Şekil 4'te görülmektedir (DS9490R). Şekilde görülebileceği gibi dönüştürücünün bilgisayar bağlantısı USB portu üzerinden sağlanmakta, sensörler için ise iki kanallı bir kablo kullanılmaktadır. Kablonun uzunluğu için belirlenen maksimum uzunluk 30 metredir ve 100'ün üzerinde sensör bu kablo üzerine yerleştirilebilmektedir.



**Şekil 4.** One-Wire sensör ağı ve bilgisayar bağlantısının yapıldığı dönüştürücü.

Dönüştürücü ve sensörler kullanılarak yapılan örnek bir bağlantı şeması ise Şekil 5'te gösterilmiştir. Şemada bilgisayar bağlantısı için kullanılan USB/One-Wire dönüştürücüsü üzerine 5 farklı sıcaklık sensörü yerleştirilmiştir. Bu sensörlerden birbirinden farklı ve değiştirilemez özel kimlik numaraları sayesinde farklı zaman çözünürlüklerinde veri alınabilmektedir. Her sensörlere ait özel kimlik numarası ise USB bağlantısı yapıldığında otomatik olarak aktifleşmekte ve her biri ayrı bir cihaz olarak görülebilmektedir.



**Şekil 5.** One-Wire teknolojisi ile gerçekleştirilen tek veri hattı barındıran sensör ağı.

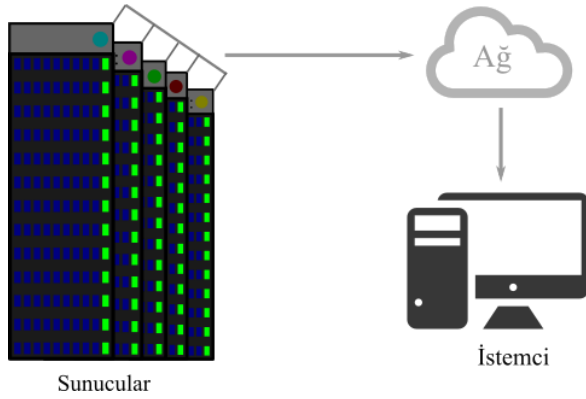
Geliştirilen OpenTEMP yazılımında sensörlerin sisteme entegrasyonu öncesinde dönüştürücü üzerine bağlanarak kimlik belirlemesi yapılması bu bilgilerinin kaydedilmesi gerekmektedir. Sensör kimlik bilgileri değiştirilemez olduğu için daha sonra kullanılmak üzere de kaydedilebilir.

## 2.2. Sunucu Sıcaklıklarının Alınması

Veri kaydedici sistemlerin kullanımı yüksek işlem yüküne sahip sunucularda hasar oluşumuna karşı önlem alınması ve sistemlerin performanslarının düzenli bir şekilde devam edebilmesi açısından büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle; geliştirilen OpenTEMP sisteminde sunucuların merkezi işlem birimi sıcaklıkları veri olarak kullanılmıştır. Bu durumu gerçekleştirmek amacıyla uzak sunuculardan ağ üzerinden veri alınmaktadır. Bu aşamada izlenen yöntem sunucudaki mevcut sensörler aracılığıyla çekirdek sıcaklıklarının sorgulanmasıdır. Aynı zamanda bu yöntemle işlemci üzerindeki tüm çekirdeklerin sıcaklıklarının gözlemlenmesi çoklu işlem gerektiren durumlarda çekirdeklerin çalışma performanslarının belgelendirilmesini de sağlamaktadır.

Sunucu çekirdek sıcaklıklarına istenilen zaman çözünürlüklerinde erişilebilmesi için güvenli veri

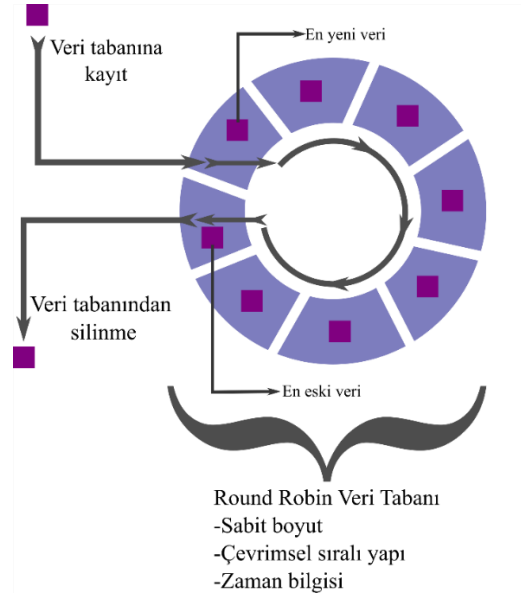
iletimi sağlayan SSH (Secure Shell) ağ protokolü kullanılmıştır (Ylonen ve Lonvick, 2006). SSH ile ağa bağlı iki sistem arasında güvenli bir şekilde veri aktarımı yapılabilmektedir. Veri aktarımı esnasında istemci sunucu modeli kullanılmaktadır (Rapier ve Bennett, 2008). Bu modelin sistemdeki kullanımı Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere kayıtlı kullanıcı adı ve şifreler kullanılarak birçok birimin ağ üzerinden veri transferi yapılması sağlanmıştır.



Şekil 6. Sunucular ve istemci arasındaki veri transferinin temsili şeması.

### 2.3. Veri Tabanı Yapısı

Geliştirilen sistemde sensörlerden alınan verilerin kaydedilmesi için Round Robin Veri Tabanı (RRDtool) kullanılmıştır. Round Robin Veri Tabanı zaman serisi verilerini saklamak ve gözlemlemek amacıyla kullanılan bir sistemdir (Plonka, 2000). Şekil 7'de kullanılan veri tabanının yapısı gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere oluşturulan veri tabanı dosyalarının boyutunu tasarlanan zaman aralığı ve çözünürlüğü belirlemektedir ve oluşturulan veri tabanı dosyalarının boyutu çevrimsel sıralı yapıları sayesinde ilk oluştuğu boyutta sabit kalmaktadır. Belirlenen süre boyunca veri kaydı tamamlandığında gelen her yeni veri için en eski veri silinerek yeni veriye yer açılmaktadır.

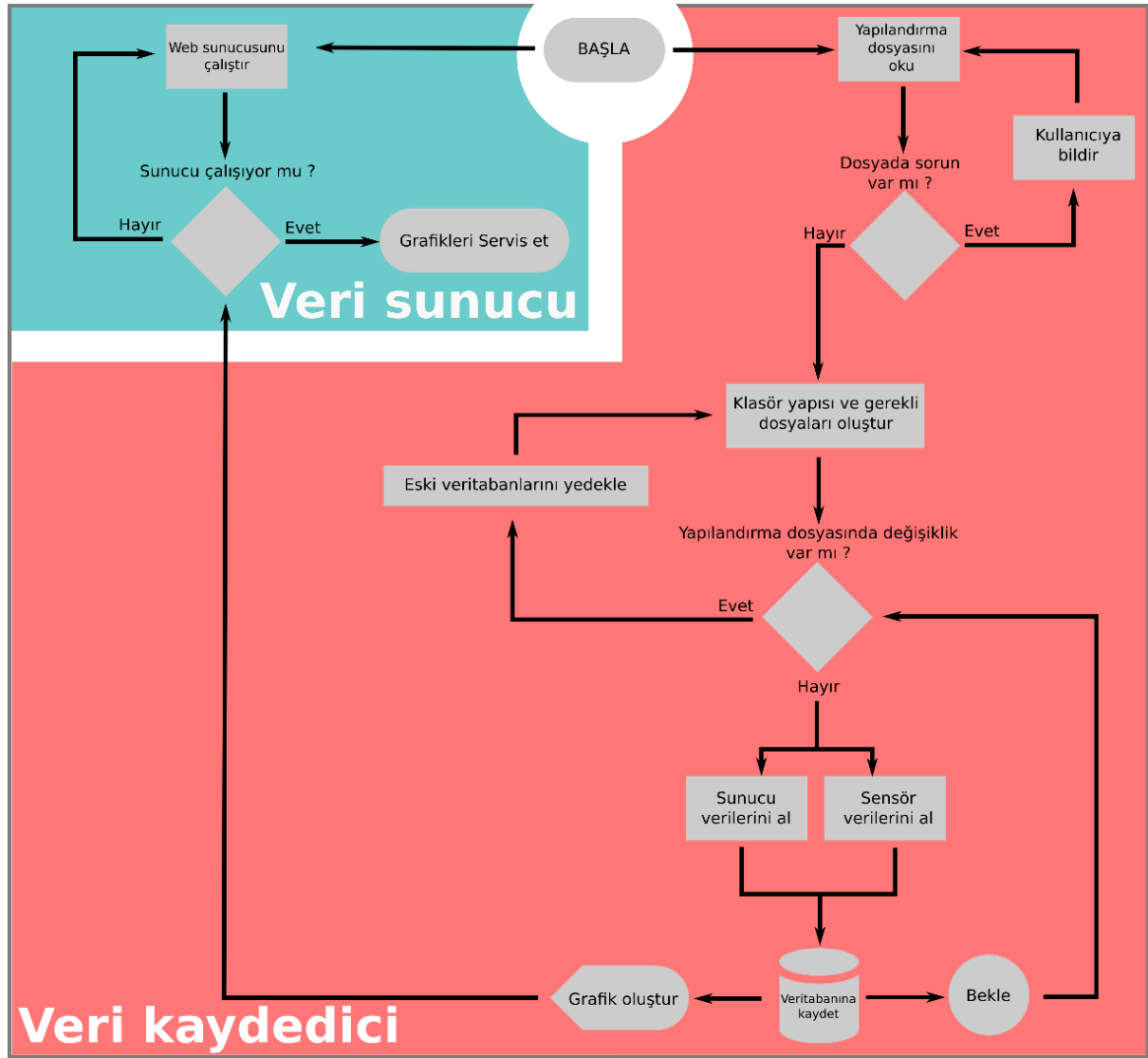


Şekil 7. Round Robin Veri Tabanı yapısı.

### 2.4. Yazılım

Geliştirilen veri kayıt ve gözlem yazılımı Python programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve temel olarak 2 bölümden oluşmaktadır: veri kaydedici ve veri sunucu. Yazılımın veri kaydedici bölümü yapılandırma dosyasına göre sensörlerden verilerin okunması ve bu veriler doğrultusunda grafiklerin oluşturulmasını sağlamakla görevlidir. Veri sunucu bölümü ise oluşturulan grafiklerin bir web arayüzü ile ağ üzerinden sunulmasını sağlar. Bu bölümler ve gerçekleştirilen yazılımın kod akış şeması Şekil 8'de verilmiştir. Şekilde gösterildiği gibi program çalıştırıldığında ilk olarak yapılandırma dosyası okunur ve eş zamanlı olarak web sunucu başlatılır.

Bu bilgiler bilgilendirme amaçlı olup farklı yapılandırma dosyalarının birbirinden ayırt edilebilmesi için kullanılmaktadır. İkinci olarak "hardware" alanında sıcaklık takibi yapılacak sunuculara ait kullanıcı adı, şifre, IP ve çekirdek bilgisi alt başlıkları bulunmaktadır. Takip edilmek istenilen sunuculara ait gerekli bilgiler bu alanlara sırasıyla girilebilir. Ortam sıcaklık sensörlerinin bilgileri için ise "sensors" başlığı oluşturulmuştur.



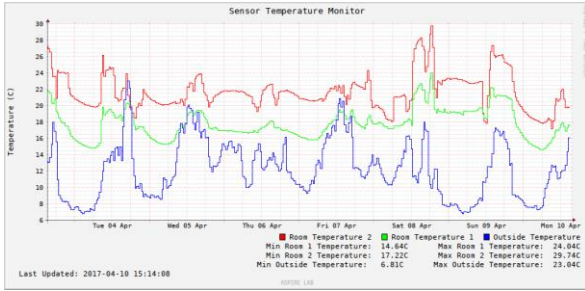
Şekil 8. Geliştirilen yazılımın kod akış şeması.

Bu alan altına sensörlerin özel kimlik numaraları, buldukları konum ve grafiklerde kullanılacak renk kodu bilgileri girilmelidir. Sırasıyla “connection” ve “directories” başlıkları altında ortam sıcaklık sensörlerinin bağlantı arayüz bilgisi ve otomatik olarak oluşturulan klasörlerin bilgileri bulunmaktadır. Ortam sıcaklık verilerinin kaydedildiği veri tabanı bilgisi “fnames” altında tanımlanmıştır. Sunucuların çekirdeklerine ait sıcaklık bilgilerinin bulunduğu veri tabanı dosyaları ise yapılandırma dosyasında belirtilen sunucu isimlerine göre farklı olarak oluşturulmaktadır. Böylece yapılandırma dosyasına yeni bir sunucu eklendiğinde yeni bir veri tabanı dosyası oluşturularak mevcut veriler korunmaktadır. En son olarak

yapılandırma dosyasının “times” bölümünde saniye cinsinden verilerin toplanma çözünürlüğü belirlenmektedir. Bu bilgi doğrultusunda sensörlerin kaç saniyede bir sorgulanacağı tanımlanmaktadır.

Kod akış şemasına göre eğer yapılandırma dosyasında yapısal bir bozukluk bulunmuyorsa ilk olarak gerekli klasör ve veri tabanı dosyaları oluşturulmaktadır. Geliştirilen yazılım çalışırken yapılandırma dosyasında yapılan değişiklikler kontrol edilmekte ve buna göre gerekli değişiklikler sensörler okunmadan önce yapılmaktadır. Yapılandırma dosyasında herhangi bir değişikliğin olmadığı tespit edilirse, sunucu ve sensör bilgileri sorgulanmaktadır. Sırayla sorgulanan

sensörlerde eğer veri akışı bulunmuyorsa bir sonraki sensör sorgulanarak devam edilmektedir. Daha sonra toplanan veriler ilgili veri tabanına kaydedilerek bu veriler doğrultusunda günlük, haftalık, aylık ve yıllık grafikler oluşturulmaktadır. Son olarak yazılımın veri kaydedici bölümünün oluşturduğu grafikler veri sunucuya iletilerek ilgili web sayfalarının oluşturulması ve web sunucu üzerinden servis edilmesi sağlanmaktadır. Böylece sensörlerden toplanan verilerin anlık olarak uzaktan izlenebilmesi mümkün olmaktadır. Örnek bir haftalık ortam sıcaklık grafiği Şekil 9’da gösterilmiştir. Şekilde x eksenini zaman bilgisini, y eksenini ise sıcaklık derecesini göstermektedir. Grafiğin sol alt köşesinde son güncelleme zaman bilgisi bulunmaktadır. Böylece kullanıcı, grafiğin oluşturulma zamanını kesin olarak öğrenebilmektedir. Ayrıca sensörlerin yapılandırma dosyasında tanımlanan renk kodlarına ve konum bilgilerine göre oluşturulan grafik kullanıcılara yorum kolaylığı sağlamaktadır. Bunların haricinde sunulan grafikteki en yüksek ve en düşük değerler grafiğin altında listelenerek kullanıcıya sunulmuştur.



**Şekil 9.** Sensörlerden alınan verilerle sistem tarafından oluşturulan haftalık sıcaklık grafiği örneği.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Geliştirilen OpenTEMP yazılımı, gerçek zamanlı sinyal işleme aşamaları barındıran bir sistem odasında uzun süreli olarak test edilmiştir (Tuysuz, 2018). Üzerinde testlerin gerçekleştiği sistem 5 bilgisayardan oluşmaktadır. Bu bilgisayarlardan 2 tanesinin merkezi işlem birimi 4 çekirdekten, diğer 3 bilgisayarın merkezi işlem birimleri ise 12 çekirdekten oluşmaktadır.

Testlerin gerçekleştiği ortama ayrıca 3 adet One-Wire sıcaklık sensörü konuşlandırılmıştır. Bu sensörlerden bir tanesi bina dışına diğer ikisi ise sistemin bulunduğu odanın içinde ayrı uçlara yerleştirilmiştir. Bu sistem odası için oluşturulan yapılandırma dosyası Şekil 10’da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi kullanılan sunuculara ait bilgiler “hardwares” bölümü altında sırasıyla girilmiştir. Ortamda bulunan 3 sensöre ait bilgiler ise “sensors” bölümüne yazılmıştır. One-Wire bağlantısının ise “usb2” portu üzerinden sağlandığı belirtilmiştir. One-Wire sensörlerin veri tabanı dosyasına verilecek isim “fname” bölümünde “tempsensor.rrd” olarak belirlenmiştir. Yazılımın veri alma çözünürlüğü ise “times” bölümünde saniye cinsinden “300” olarak yani 5 dakikada bir olmak üzere tercih edilmiştir.

```
[user]
name           =Dogan BASARAN
company        =ASPIRE LAB

[hardwares]
hostnameList   =dagobah,mustafar,endor,naboo,tatooine
usernameList   =radar,radar,radar,radar,radar
passwordList   =aspire,aspire,aspire,aspire,aspire
coreList       = 4,4,12,12,12

[sensors]
sensorAreaList =Outside Temperature,Room
               Temperature 1,Room Temperature 2
sensorIdList   =/28.B8A8D0050000,/28.7EB5D0050000,/28.C7483C040000
lineColorList  =#FF0000,#00FF00,#0000FF

[connection]
usbPort        =usb2

[directories]
libraries      =lib
images         =img
figures        =fig
websites       =web
database       =db

[fnames]
fname          =tempsensor.rrd

[times]
getData_res    =300
```

**Şekil 10.** Gerçekleştirilecek test için oluşturulan yapılandırma dosyası.

Yapılandırma dosyasının test için uygun hale getirilmesinin ardından OpenTEMP yazılımı ile yaklaşık 1 ay süresince testler yapılmıştır. Test edilen sistemdeki her sunucu ve sensör için veri tabanı dosyaları otomatik olarak oluşmuş ve bu yapılandırma

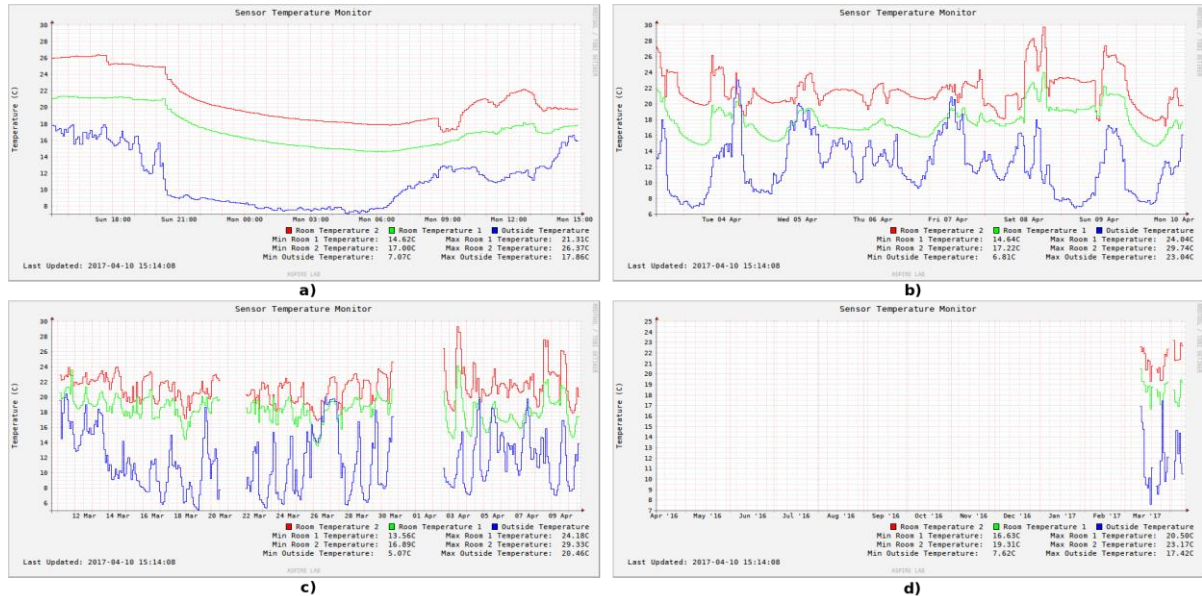
dosyasına göre oluşturulan web sayfasındaki menü kısmı Şekil 11’de verilmiştir. Şekildeki menüde “Sensors” başlığı altında test ortamında bulunan 3 adet One-Wire sıcaklık sensörünün verileri bulunmaktadır. “Mustafar”, “Dagobah”, “Endor”, “Naboo” ve “Tatooine” başlıkları altında ise test ortamındaki sunucuların sıcaklık verileri bulunmaktadır.



Şekil 11. Web arayüzünün menü sayfası.

Menü sayfası üzerinden erişilen “Sensors” sayfasında bulunan ortam sensörlerine ait sıcaklık grafikleri Şekil 12’de verilmiştir. Şekilde sırasıyla verilen 12a, 12b, 12c ve 12d grafikleri ortam sensörlerinden alınan verilerle oluşturulan günlük, haftalık, aylık ve yıllık

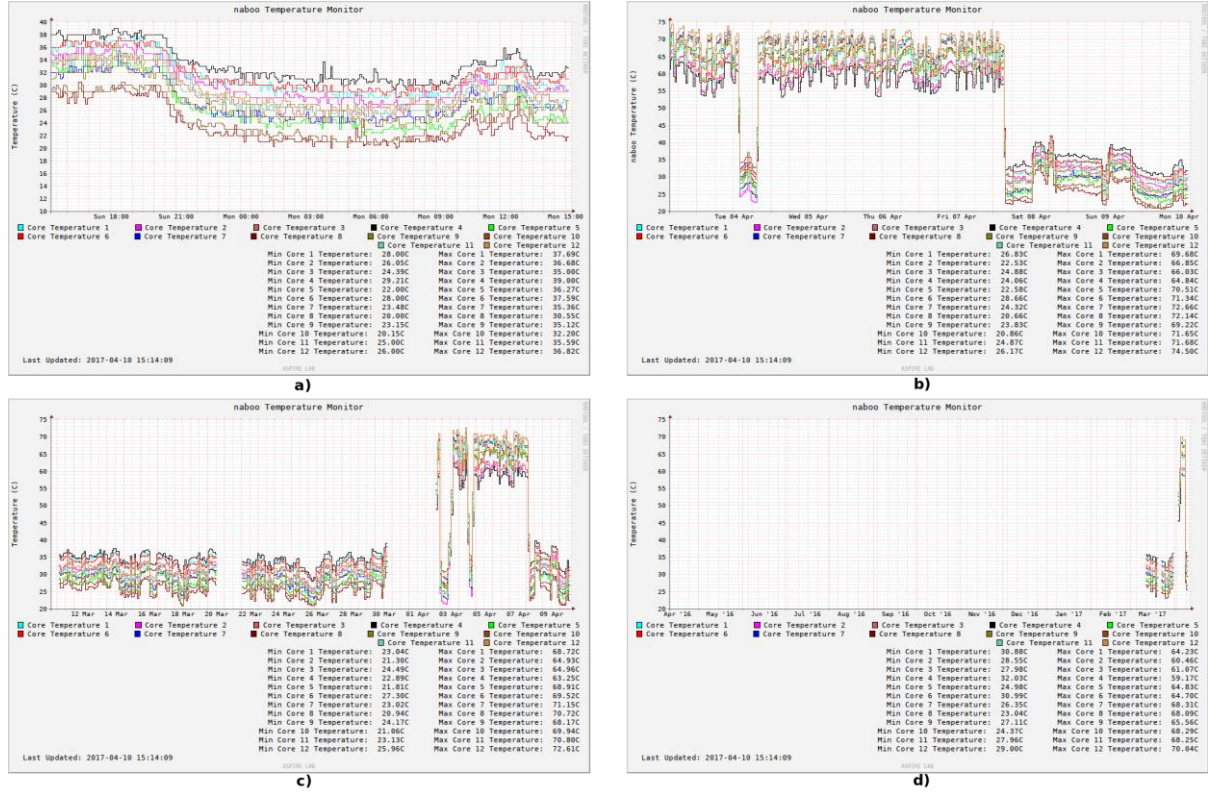
sıcaklık grafikleridir. Bu grafiklerin tümünde mavi renk bina dışındaki sensörün verilerini, yeşil renk oda içinde cama yakın olan sensörün verilerini ve kırmızı renk ise oda içinde sunuculara yakın olan sensörün verilerini göstermektedir. Bu renkler ve sensör adı bilgileri kullanıcı tarafından yapılandırma dosyasında belirlendiği gibi grafiklere yansıtılmıştır. Şekil 12a incelendiğinde yaklaşık olarak saat 20:30’da güneşin batması ile dış ortam ve iç ortam sıcaklıklarında oluşan üstel düşüş fark edilebilir. Ayrıca mavi ile gösterilen dış ortam sensöründen alınan verilerdeki tepelikler parçalı bulutu hava nedeniyle oluşmuştur. Gece ve gündüz sıcaklıklarının ortama etkileri ise daha düşük çözünürlük sağlayan haftalık, Şekil 12b, ve aylık, Şekil 12c, grafiklerinde rahatlıkla görülebilmektedir. Şekil 12d ise yıllık bazda sıcaklık değişim trendinin izlenebilmesine olanak sağlamıştır. Ayrıca tüm grafiklerde görülen en yüksek ve en düşük sıcaklık verileri, grafiklerin sağ alt köşesinde görülebilir. Yapılandırma dosyasında da belirtildiği gibi 5 dakika zaman aralıklarıyla alınan veriler, aynı zamanda grafikler her 5 dakikada güncellenirken kullanılmıştır ve gerçek zamanlı sıcaklık takibine olanak sağlamıştır.



Şekil 12. Web sayfasında ortam sensör verilerinin gözlemlenebildiği a) günlük b) haftalık c) aylık ve d) yıllık periyotlarla yazılım tarafından oluşturulan grafikler. Grafiklerde dikey eksen sıcaklıklar santigrat derece, yatay eksen zaman ise yerel zaman olarak verilmiştir

Şekil 11'de verilen web arayüzünde gösterilen diğer bölümler ise sunucu bilgisayarlara aittir. Örnek olarak, Naboo adlı sunucuya ait sayfada sunulan 12 çekirdeğin sıcaklık grafikleri Şekil 13'te sırasıyla günlük, haftalık,

aylık ve yıllık olarak Şekil 13a, Şekil 13b, Şekil 13c ve Şekil 13d'de verilmiştir.



Şekil 13. Web sayfasında sunucu verilerinin gözlemlenebildiği günlük, haftalık, aylık ve yıllık periyotlarla oluşturulan grafikler. Grafiklerde dikey eksen sıcaklıklar santigrat derece, yatay eksen zaman ise yerel zaman olarak verilmiştir.

Şekil 13a'da sunucu yük altında çalışmıyorken tüm çekirdeklerin sıcaklık dereceleri görülebilmektedir. Şekilden, çekirdek sıcaklıklarının gün içerisinde 20oC ile 39oC arasında değiştiği ve daha önce Şekil 12a'da oda sıcaklıklarında görülen gece gündüz farkından kaynaklanan üstel sıcaklık düşümünün, sunucu çekirdek sıcaklıklarına önemli oranda etki ettiği anlaşılmaktadır. Şekil 13b'de verilen haftalık grafikte ise 4 Nisan tarihinde yaklaşık yarım gün ve 8 Nisan tarihinden sonra sunucuda işlem yükü olmadığı görülmektedir. Geri kalan dönemlerde ise çalıştırılan işlemlerde paralel mimari kullanıldığı ve tüm çekirdeklerden verimli şekilde faydalandığı söylenebilir. Sunucunun kullanıldığı bu yoğun dönem

Şekil 13c'de verilen aylık grafiğe de yansımıştır. Şekil 13c ve Şekil 13d'de görülen boş bölümler ise veri alınmayan, sunucunun kapalı olduğu veya OpenTEMP'in çalışmadığı zamanları göstermektedir.

#### 4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Bilişim altyapılarını oluşturan maliyeti yüksek sunucu sistemlerinden alınan verimin yüksek seviyelerde tutulabilmesi için sunucuların ve çalıştıkları ortamların olumsuz fiziksel koşullara karşı korunabilmesi önemli bir ihtiyaçtır. İşlem yükünün fazlalığı nedeniyle bu tür cihazların kritik sıcaklıklara ulaşması istenmedik sorunlara sebep olabilmektedir. Bu çalışmada sunucu odaları ve mevcut sunucular için; sıcaklık kaynaklı

periyodik verimsizliklerin fark edilip giderilmesi ve verimlilik güncellemelerinin yapılabilmesi amacıyla geliştirilen OpenTEMP yazılımı tanıtılmıştır.

Literatürde mevcut sistemler incelendiğinde OpenTEMP'in farklılıkları ortaya çıkmaktadır. Buna göre OpenTEMP ve literatürde bulunan benzer veri kayıt ve gözlem sistemlerinin belirgin özellikleri Tablo 1'de kıyaslamalı olarak verilmiştir.

**Tablo 1.** OpenTEMP ve literatürdeki benzer sistemlerin özellik tablosu. (D: Dijital, A:Analog)

	(Fuantes vd., 2014)	(Kumar vd., 2010)	(Gurav vd., 2016)	(Canan vd., 2015)	(Bekleyen vd., 2014)	OpenTEMP
<b>Kaydedilen veri tipi</b>	Sıcaklık	Sıcaklık, Nem, SO2, NO2	Sıcaklık	Sıcaklık, Nem	Sıcaklık	Sıcaklık
<b>Desteklenen sensör sayısı</b>	D: Limitsiz A: Limitli	A: Limitli	A: Limitli	Bilinmiyor.	Bilinmiyor.	D: Limitsiz
<b>Kullanılan veri tabanı yapısı</b>	Metin dosyası	Metin dosyası	Excel	Bilinmiyor.	Bilinmiyor.	Round Robin Veritabanı
<b>Uzaktan erişim seçeneği</b>	Yok	Yok	Yok	Bilinmiyor.	Bilinmiyor.	Mevcut
<b>Programlama dili</b>	C,C++	C	Bilinmiyor.	Bilinmiyor.	Bilinmiyor.	Python, HTML, CSS
<b>Yazılım platformu</b>	Arduino IDE	PIC-18F4458	Bilinmiyor.	Bilinmiyor.	Bilinmiyor.	Bilgisayar
<b>Kaynak kodu erişimi</b>	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Var
<b>Kullanılan donanımlar</b>	ArduinoUno, DS18B20, LM35	LM35, HIH4000, SO2-BF, NO2-A1	LM35	HOBO	MicroLite	DS18B20, DS9490R
<b>Veri kaydedici tipi</b>	Ticari Değil	Ticari değil	Ticari değil	Ticari	Ticari	Ticari değil
<b>Web arayüzü</b>	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Var

Tablo 1' de görülen; literatürde bulunan 5 adet veri kaydedici sistem/yazılım ve OpenTEMP'in özellikleri karşılaştırıldığında, kıyaslanan sistemlerde de genellikle sıcaklık verilerinin kayıt altına alındığı görülmüştür. Bununla birlikte OpenTEMP yazılımında olduğu gibi One-Wire sensörler barındıran diğer sistemlerin de desteklenen sensör sayısı bakımından avantajları olduğu gözlemlenebilmektedir. OpenTEMP sistemini benzerlerinden farklı kılan özelliklerin ise sahip olduğu web arayüzü, gelişmiş veri tabanı yapısı ve açık kaynak kodlu mimarisi olduğu görülmüştür.

OpenTEMP kullanılarak gerçekleştirilen test aşamasının sonucunda, sunucuların merkezi işlem

birimi çekirdek ve ortam sıcaklıkları yazılım tarafından kayıt altına alınmış ve web üzerinden oluşturulan arayüz ile kullanıcılara sunulmuştur. Test sonuçları değerlendirildiğinde OpenTEMP yazılımının belirlenen hedefler doğrultusunda sunucular için veri kayıt ve gözlem imkânı sunduğu, sunucu merkezi işlem birimi sıcaklıklarının gerçek zamanlı takibine olanak sağladığı ve ortam sıcaklığının sunucu sıcaklıkları üzerine etkilerinin değerlendirilebilmesini mümkün kıldığı görülmüştür. Ayrıca geliştirilen OpenTEMP yazılımının güncel kaynak kodları paylaşılarak erişime açılmıştır (OpenTEMP kaynak kodları).

Geliştirilen yazılımda bu çalışma için sadece sıcaklık sensörleri kullanılmasına karşın One-Wire teknolojisi ile çalışan farklı sensörler sisteme kolaylıkla entegre edilerek nem, basınç vb. parametreler de takip edilebilir. Ayrıca uygun donanımlar kullanılarak takip edilen parametreler doğrultusunda sucunu odalarında kullanılan iklimlendirme cihazlarının otomatik kontrolü sağlanabilir.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Bilimsel çalışmamız ile kişisel durumumuz arasında potansiyel veya mevcut bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Teşekkür

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanlığı'na bu çalışmaya sağladıkları katkılardan dolayı teşekkür ederiz.

### Kaynaklar

AKYILDIZ IF., ERICH PS. Wireless underground sensor networks: Research challenges. *Ad Hoc Networks*. 4.6 : 669-686, 2006.

ALBAYRAK Y., KOÇER A., USLU S. Web servis aracılığıyla android cihazlardan sıcaklık kontrolü. *Akademik Bilişim*. 2013.

AYDIN M., SÜZER M., YEŞİLATA B. Fotovoltaik sistemlerde anlık çalışma koşullarının ölçümü için özgün bir veri (daq) kartı tasarımı. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı*. 108-111, 2005, Mersin.

BADHIYE SS., CHATUR PN., WAKODE BW. Data logger system: A Survey. *International Journal of Computer Technology and Electronics Engineering*. 24-26, 2011.

BEKLEYEN A., DALKILIÇ N., ÖZEN N. Geleneksel Mardin Evi'nin Mekansal ve Isısal Konfor Özellikleri. *TÜBAV Bilim Dergisi*. 7(4) : 28-44, 2014.

CANAN İ., AĞAR İT., GÜNDOĞDU M. Türkiye'de Limon Üretim Bölgesine yakın Yerlerde Kullanılan

Doğal Depoların Mevcut Durumu ile Sıcaklık ve Nem Durumlarının Araştırılması. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*. 1(2) : 66-77, 2015.

DS18B20 – Sensör özellikleri ve kullanım alanları. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>, Erişim tarihi : 23-01-2018.

DS9490R – One-Wire/USB bağlantı aparatı. <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/1796>, Erişim tarihi : 28-01-2018.

FUENTES M., VIVAR M., BURGOS J., AGUILERA J., VACAS J. Design of an accurate, low-cost autonomous data logger for pv system monitoring using arduino TM that complies with iec standards. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 130 : 529-543, 2014.

GURAV KV., NAIKAWADI PS., PATIL KR., PATIL SS. Data Logger System. *International Journal of Innovative Research in Science and Engineering*. 2 : 725-729, 2016.

KUMAR A., SINGH IP., SUD SK. Development of multi-channel data logger for indoor environment. *Engineering*. 2 : 690-697, 2010.

OpenTEMP sistem kaynak kodları, (<https://gitlab.com/labaspire/opentemp.git>), Düzenlenme tarihi : 03.03.2018.

PLONKA D. FlowScan: A Network Traffic Flow Reporting and Visualization Tool. *In: LISA*. 305-317, 2000.

RAPIER C., BENNETT B. High speed bulk data transfer using the SSH protocol. *15th ACM Mardi Gras Conf*. 1-7, 2008.

SENKY BS., Method and apparatus for monitoring the temperature of a processor. U.S. Patent No. 6,363,490. 26 Mart 2002.

Sistem odası ortam gereksinimleri ve olumsuz fiziksel koşulların sistemlere etkileri, ([http://sistemnetwork.karabuk.edu.tr/sistem\\_odasi/sistem\\_odasi.html](http://sistemnetwork.karabuk.edu.tr/sistem_odasi/sistem_odasi.html)), Erişim tarihi : 16-02-2018.

TÜYSÜZ B. Hava Hedeflerinin Tespiti İçin Yakın Gerçek Zamanlı Çoklu Frekans Destekli Pasif Radar Sisteminin Geliştirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 1 : 1-1, 2018.

YLONEN T., LONVICK C. The secure shell (SSH) protocol architecture. 2006.





## KÖPÜK KURUTMA TEKNİĞİNİN MEYVE VE SEBZE İŞLEMEDE KULLANIMI

İnci ÇINAR<sup>1\*</sup> ve Fatma Kevser ERAFŞAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, K.Maraş/Türkiye

<sup>2</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim dalı, K.Maraş/Türkiye

### Makale Künye Bilgisi:

Çınar, İ., & Erafşar, F. K. (2018). Köpük kurutma tekniğinin meyve ve sebze işlemede kullanımı. *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 19(2), 89-100.

Makale Bilgileri	Öz
<b>Makale Tarihiçesi:</b> Geliş: 14 Mart 2018 Kabul: 12 Aralık 2018	Gıda endüstrisi son yıllarda hazır ve kolay tüketilebilir gıda talebi, sağlıklı beslenme trendi ve sürekli değişen tüketici istekleri doğrultusunda toz hazır gıda üretiminde yenilikçi çalışmalar ve girişimci projeler gerçekleştirmiştir. Toz hazır gıda üretilmesinde kullanılan kurutma teknikleri arasında köpük kurutma tekniği giderek artan bir önem kazanmıştır. Köpük kurutma sıvı gıdaların köpük oluşturu ve stabilizör ajanlar yardımıyla köpüklendirilerek yüksek kuruma yüzey alanına sahip hale getirilmesi ve köpüğün sıcak hava akımıyla kurutulması esasına dayalı bir tekniktir. Köpük kurutma hemen tüm gıdalara uygulanabilme, kuruma süresini kısaltarak besinsel kalite kayıplarını azaltma, dondurularak kurutulmuş veya sprey kurutulmuş ürün kalitesinde üretime olanak sağlama ve daha düşük maliyet gibi avantajlara sahiptir. Köpük kurutma ile rekonstitüsyon özelliği yüksek toz gıdalar üretilmektedir. Bu açıdan çalışmanın amacı köpük kurutma tekniğinin esasları, köpük oluşumu ve özellikleri, meyve ve sebzelerin işlenmesinde kullanımı ve köpük kurutulmuş ürünlerin raf ömürleri ile ilgili son çalışmalar hakkında bilgi vermektir.
<b>Anahtar Kelimeler:</b> köpük kurutma; köpük ajanları; stabilizör; kuruma hızı; raf ömrü.	

## APPLICATIONS OF FOAM MAT DRYING IN FRUIT AND VEGETABLE PROCESSING

Article Info	Abstract
<b>Article History:</b> Received: March 14, 2018 Accepted: December 12, 2018	Food industry recently has been performed innovative and entrepreneur projects on powdered food production under the direction of ready and fast food demand, trends in healthy nutrition and rapid changing consumer demands. Foam mat drying has gained growing interest among other powdered food production techniques. Foam mat drying is based on foaming of liquid foods by foaming and stabilizing agents to provide high drying surface area and followed by hot air drying. Foam mat drying has advantages such as applicability to nearly all types of foods, reduction of nutritional quality losses by decreasing drying time, production of high quality dried foods as high as lyophilized and spray dried foods and low manufacturing costs. Foam mat drying produces such powdered foods having high reconstitution properties. Therefore, the aim of the study is to summarize recent studies on fundamentals of foam mat drying, foaming and foam properties, applications in fruit and vegetable processing and shelf life of foam mat dried foods.
<b>Keywords:</b> foam mat drying; foaming agent; stabilizer; drying rate; shelf life.	

## 1. Giriş

Geleneksel gıda muhafazası yöntemlerinden biri olan kurutmanın gıda işlemede önemli bir yeri bulunmaktadır. Temel olarak gıdadaki su içeriğini ve su aktivitesini düşürmeyi hedefleyen kurutma işlemi ile uzun raf ömrüne sahip, sağlıklı ve standart bir ürün elde edilebilmektedir. Kurutma esnasında kurutulan ürünlerdeki nem içeriği %1-5 seviyesine indirilerek mikrobiyel bozulmalar ve istenmeyen enzimatik, kimyasal, biyokimyasal, duyuşsal ve tekstürel değişimler kontrol altına alınabilmektedir. Ağırlık ve hacimdeki düşüş ise paketleme, depolama ve nakliye masraflarını azaltılarak ekonomik açıdan avantaj sağlanmaktadır (Sangamithra vd. 2015).

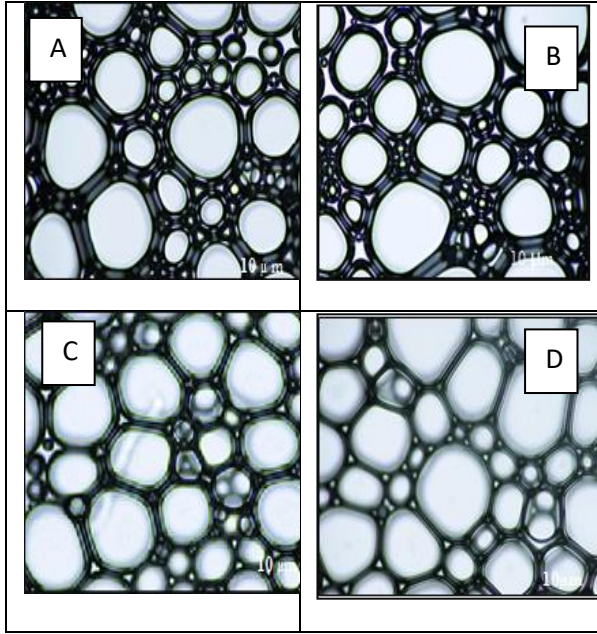
Gıdaların kurutulmasında işlenecek gıdanın özelliklerine göre çok farklı teknikler ve ekipmanlar kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan teknik sıcak hava kurutma tekniğidir ancak gıdanın uzun süre sıcak havaya maruz kalması sebebiyle kurutulmuş ürün kalitesinde olumsuz değişikliklere sebep olabilmektedir. Bu açıdan bir yandan termal olmayan kurutma teknikleri üzerindeki çalışmalar devam etmekte diğer yandan da sıcak hava kurutma süresinin kısaltılarak gıdada istenmeyen olumsuz değişmelerin sınırlandırılmasına yönelik iyileştirme çalışmaları yürütülmektedir. Köpük kurutma tekniğı sıcak hava kurutma süresinin kısaltılması, kuruma hızının artırılması ve kurutulmuş gıda kalitesinin daha iyi korunması gibi hedeflerle kullanılmaktadır. Köpük kurutma tekniğinin kuruma süresini kısaltması temel olarak köpüğün çok geniş evaporasyon yüzey alanına sahip olması ve sıvı gıdanın baloncuk üzerinde yayılma kalınlığının oldukça sınırlı olmasından kaynaklanmaktadır. Kuruma hızını arttıran ve kuruma süresini kısaltan bu durumun dezavantajı ise yüksek köpük hacminin ve geniş köpük yayılma alanının kurutma ünitesinin kapasitesini düşürmesidir. Çalışmanın amacı köpük kurutmanın esasları, köpük oluşumu, köpük ajanlarının özellikleri, köpük kurutmanın meyve ve

sebzede işlemede kullanımı örnekleri ve kurutulmuş ürünlerin raf ömürleri ile ilgili literatürden seçilmiş son çalışmaların özetlenmesidir.

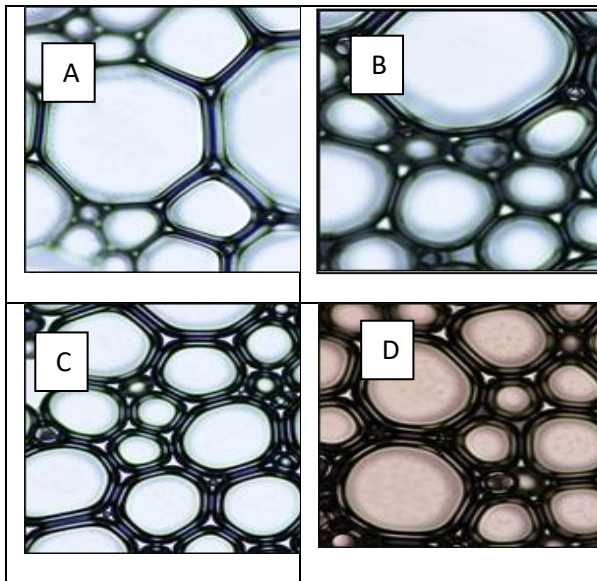
## 2. Köpük Oluşumu ve Köpük Ajanlarının Özellikleri

Köpük, gaz fazın sürekli faz olarak adlandırılan sıvı faz içinde dağılmasıyla oluşan kolloidal bir dispersiyondur (Sangamithra vd. 2015). Sentetik veya protein yapıda olabilen köpük ajanı ise pratikte sıvı-sıvı veya gaz-sıvı arasındaki yüzey gerilimini düşürerek köpük oluşumunu kolaylaştıran yüzey aktif madde olarak tanımlanabilir. Köpük oluşumunu etkileyen en önemli faktörler gıdanın tipi, köpük ajanı ve stabilizörün cinsi, konsantrasyonu, köpüklendirme süresi ve hızı olarak tanımlanmaktadır. Çınar ve Erafşar (2018) tarafından yapılan bir çalışmada (henüz yayınlanmamış) köpük ajanı olarak çövenotu tozu kullanılmış, farklı karıştırma süresi (1500rpm, 1-5dak) ve konsantrasyonun (%2, 3, 4 ve 6) köpük oluşumuna etkileri incelenmiş ve köpük görüntüleri Nikon marka Eclipse 80i model trinoküler mikroskop ile oluşturulmuştur. Şekil 1'de görüldüğü üzere, çövenotu konsantrasyonu arttıkça köpük büyüklüğü düşmekte, köpük yüzey alanı arttığı için yüzeye yayılan sıvı gıda miktarı artmakta ve yüzeyden suyun buharlaştırılma miktarı ve kuruma hızı artmaktadır.

Şekil 2'de görülmekte olduğu üzere, aynı köpük ajanı konsantrasyonunda (%4) karıştırma süresi(1-5dak) arttıkça baloncuk büyüklüğü düşmekte, oluşan baloncuk sayısı ve dolayısıyla buharlaşma yüzey alanı artmakta ancak bu etki, kritik karıştırma süresinden sonra oluşan baloncukların birleşmesine neden olduğu için, düşmektedir.



**Şekil 1.** Farklı konsantrasyonlardaki çövenotu çözeltilerinin trinoküler mikroskop köpük görüntüleri (A:%2, B:%3, C:%4, D:%6)



**Şekil 2.** %4'lük çövenotu çözeltisinin farklı çırpma süreleri sonundaki trinoküler mikroskop köpük görüntüleri (A:1 dak, B:2 dak, C:3 dak, D:4 dak)

Köpük kurutma prosesinde köpüğün özelliklerini belirlemede en yaygın kullanılan parametreler köpük stabilitesi, köpük genişmesi (ekspansiyon), köpük yoğunluğu ve köpük drenaj hacmidir. Köpük stabilitesi Eşitlik 1'de ifade edildiği üzere belirli hacimdeki behere sıkıştırılmadan yerleştirilen

köpüğün belirli süre sonraki oransal hacim azalmasını ifade etmektedir (Ng ve Sulaiman 2018).

$$\text{köpük stabilitesi}(\%) = \frac{V_{\text{köpük}}}{V_0} 100 \quad (1)$$

Eşitlikte  $V_{\text{köpük}}$  30dak sonundaki köpük hacmini (mL) ve  $V_0$  ilk köpük hacmini (mL) ifade etmektedir. Köpük genişmesi köpükendirme boyunca sıvının hapsedebildiği havanın bir ölçüsüdür ve Eşitlik 2'de verildiği üzere köpüğün ilk ve son hacmi arasındaki farkın ilk hacme oranı ile ifade edilir (Sangamithra vd. 2016):

$$\text{Köpük genişmesi}(\%) = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \quad (2)$$

Eşitlikte  $V_0$  köpük oluşturulmadan önceki hacmi (mL) ve  $V_1$  köpük oluşturulduktan sonraki hacmi (mL) ifade etmektedir. Köpük yoğunluğu ise çırpmanın niteliğini ifade etmekte olup çırpma sırasında sıvı gıda içine alınan hava hacmi arttıkça köpük yoğunluğu azalmaktadır. Köpük yoğunluğu Eşitlik 3'te verildiği şekilde belirli ağırlıktaki köpüğün köpük hacmine oranı olarak ifade edilir (Sangamithra vd. 2016):

$$\text{Köpük yoğunluğu}(g/cm^3) = \frac{\text{köpük } c}{\text{köpük } h} \quad (3)$$

Düşük köpük yoğunluğu köpük bünyesine daha fazla havanın alınabilmesine olanak vermekte ve sıklıkla karıştırmanın başarı ölçütü olarak kullanılmaktadır. Köpük stabilitesinin yüksek olması düşük köpük yoğunluğu ile sağlanmakta olup kurutmanın başarısını da arttırmaktadır (Dehghannya vd., 2018). Köpük drenaj hacmi ise yerçekimi etkisiyle köpükten ayrılan sıvı oranını ifade etmekte ve filtre üzerine belirli ağırlıkta yerleştirilen köpükten belirli süre sonunda ayrılan sıvı kısmın hacminin ölçülmesi ile belirlenmektedir (Pasban vd. 2015).

Köpük kurutma tekniğinde köpük ajanı ve stabilizörün cinsi ve konsantrasyonu elde edilecek kurutulmuş toz ürünün fizikokimyasal özelliklerine, mikrobiyel kalitesine ve kurutma süresine etki etmektedir. Literatürde konuyla ilgili dikkat çeken çalışmalar mevcuttur. Örneğin, Kadam vd. (2012a) köpük ajanlarının köpük kurutma ile elde edilen toz ananasın fizikokimyasal özellikleri ve mikrobiyel kalitesi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Farklı konsantrasyonlarda trikalsiyum fosfat (%0, 0.25, 0.50, 0.75 ve 1.0) ve yumurta albümini (%0, 0.50, 1.0, 1.5 ve 2.0) kullanarak 18.000rpm'de elde ettikleri köpüklerde stabilizatör olarak %0.25'lik karboksimetil selüloz kullanılmıştır. Farklı sıcaklıklardaki (65, 75 ve 85°C) kurutma işlemi sonucunda %1 trikalsiyum fosfat kullanılarak elde edilen köpüğün 65°C'de kurutulması ile oluşan toz ürünün fizikokimyasal özelliklerinin en iyi olduğu bulunurken maya ve bakteri gelişimi gözlenmemiştir.

Abbasi ve Azizpour (2016) köpük kurutma ile elde edilen vişne tozlarında kullanılan köpük ajanı ve stabilizatörün fizikokimyasal özellikler (çözünürlük, toplam antosiyanin içeriği, pH, esmerleşme indeksi, asitlik ve kuruma süresi) üzerine etkisini incelemişlerdir. Köpük oluşumu için yumurta beyazı (%1, 2 ve 3) ve stabilizatör olarak metil selüloz (%1, 1.5 ve 2) kullanılmıştır. 4 dakika çırpılarak oluşturulan köpükler 50, 65 ve 80°C'de kurutulmuştur. Kurutma sonucunda metil selüloz konsantrasyonu arttıkça toplam antosiyanin içeriği, asitlik, esmerleşme indeksi ve kuruma sürelerinde azalma gözlenirken çözünürlük ve pH'da artma gözlenmiş ve yumurta beyazı konsantrasyonun artmasıyla birlikte ise pH hariç tüm fizikokimyasal özelliklerde düşüşler gözlenmiştir. Chandrasekar vd. (2015) karışık sebze suyu tozu eldesinde farklı yumurta albümini konsantrasyonunun (%10, 20 ve 30) ve kurutma sıcaklığının (50, 60 ve 70°C) antimikrobiyel ve fitokimyasal özellikler üzerine

etkilerini incelemişlerdir. Albümin konsantrasyonun artmasıyla köpük stabilitesi ve genişlemesinin arttığı gözlenmiştir. %30 yumurta albümini kullanılarak 50°C'de kurutulan karışık sebze tozlarında  $\beta$ -karoten ve toplam fenolik miktarının daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kadam vd. (2012b) farklı köpük ajanlarının kurutulmuş domates tozunun fizikokimyasal özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Karboksimetil selüloz, süt ve yumurta akı kullanılarak elde edilen köpükler 65, 75 ve 85 °C'de kurutulmuş ve elde edilen domates tozlarının toplam şeker, askorbik asit, likopen miktarı ve toplam asitlikleri belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda 85°C'de karboksimetil selüloz kullanılarak elde edilen domates tozunun optimum sonucu verdiği ifade edilmiştir. Yine Kadam ve Balasubramanian (2011) domates suyundan domates tozu üretiminde köpük ajanı olarak farklı konsantrasyonlarda (%0, 5, 10, 15 ve 20) yumurta albümini kullanmış ve kurutma üç farklı sıcaklıkta (60, 65 ve 70°C) gerçekleştirilmiştir. Kuruma süresinin artan yumurta albümini konsantrasyonu ile düştüğü ve köpükendirilmiş domates sularının kuruma sürelerinin 60 ve 70°C'lerde yapılan kurutmalar için sırasıyla 510 ve 450dak olduğu ifade edilmiştir.

### 3. Köpük Stabilitesi

Köpük oluşturmadaki başarının köpüğün kurutma süresi boyunca sönmeden stabil kalmasında da sürdürülmesi gerekmektedir. Aksi halde köpüğün sönmesi evaporasyon yüzey alanını düşürerek kuruma hızının düşmesine sebep olacaktır. Oluşturulan köpüğün stabilitesi kurutmanın başarısında ve son ürün kalitesinde önemli rol oynamaktadır. Köpük stabilitesi gıdanın özellikleri, stabilizör cinsi ve konsantrasyonu, köpükendirme koşulları (çırpma süresi ve hızı), kremleşme, birleşme ve drenaj ile kurutma sıcaklığına bağlıdır.

Bu faktörler içinden farklı köpük stabilizörleri kullanılarak optimum stabil köpük oluşturma üzerinde sıklıkla çalışılan konulardandır. Pasban vd. (2015) beyaz mantar (*Agaricus bisporus*) kurutmada köpük stabilizasyonundaki optimum koşulları yanıt yüzey yöntemi ile belirlemişlerdir. Köpük eldesinde farklı oranlarda mantar püresi:su karışımına (1:0.5-1:2.5w/w) farklı konsantrasyonlarda tere tohumu gamı (%0.3-0.6) ekleyerek 15000 rpm'de farklı sürelerde (2-8 dak) çırpma işlemi uygulamışlardır. Farklı sıcaklıklarda (50, 65 ve 80°C) yapılan kurutma işlemi sonucunda efektif nem difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi hesaplanmıştır. Optimum köpük stabilitesi için gam konsantrasyonu %0.57, mantar püresi: su oranı 1:0.5 ve çırpma süresi 6.49dak olarak belirlenmiştir. Bu şartlarda köpük yoğunluğu 0.58g/cm<sup>3</sup>, drenaj hacmi ise 2.9mL olmuştur. 50, 65 ve 80°C'lerde yapılan kurutma sonunda efektif nem difüzyon katsayıları sırasıyla 4.765x10<sup>-9</sup>, 8.39x10<sup>-9</sup> ve 10.42x10<sup>-9</sup>m<sup>2</sup>/s, aktivasyon enerjisi ise 24.867kJ/mol olarak hesaplanmıştır.

Fernandes vd. (2013) domates pulunun köpük kurutulmasını inceleyerek çırpma süresi (0.3, 1.5, 4.5, 7.5 ve 8.3dak) ve albümin konsantrasyonunun (%0.3, 1.5, 4.5, 7.5 ve 8.3) köpük yoğunluğu ve köpük stabilitesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Kurutma sonucunda köpük yoğunluğuna sadece çırpma süresi etki ederken (p<0.05) köpük stabilitesine hem çırpma süresi (p<0.01) hem de albümin konsantrasyonunun (p<0.01) etkili olduğu tespit edilmiştir. Düşük köpük yoğunluğu ve yüksek köpük stabilitesi dikkate alındığında optimum stabil köpük oluşumunun % 4.5 yumurta albümini içeren ve 4.5dak çırpılarak elde edilen domates pulpu ile sağlandığı tespit edilmiştir.

Raharitsıfa vd. (2006) köpük kurutmada elma suyu köpüklerinin stabilitesi ve reolojik özelliklerini incelemişlerdir. Köpük oluşturmak için protein

(%0.5, 1, 2 ve 3 yumurta albümini) ve polisakarit kaynaklı (%0.1, 0.2, 0.5, 1 ve 2 metil selüloz) köpük ajanları ve farklı çırpma süreleri (3, 5 ve 7dak) kullanmışlardır. Yumurta albümini köpük stabilitesinin metil selüloza göre daha düşük fakat köpük kapasitesinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Her iki ajan için köpük stabilitesi konsantrasyon artışıyla artmıştır. Çırpma süresindeki artış yumurta albümini köpük stabilitesini arttırmıştır. Farklı bir çalışmada ise Thuwapanichayanan vd. (2008) farklı sıcaklıklarda (60, 70 ve 80°C) kurutulmuş muz üretiminde köpük ajanı olarak yumurta albümini kullanmışlar ve farklı çırpma süresi (10, 20, 30 ve 40dak) ve köpük yoğunluğunun (0.3, 0.5 ve 0.5g/cm<sup>3</sup>) köpük stabilitesi ve kuruma oranı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda düşük yoğunluklu köpüklerin geniş gözenekli yapılarından dolayı kuruma oranı, efektif nem difüzyon katsayısı ve büzülme değerlerinin daha yüksek ve dolayısıyla daha stabil oldukları gözlemlenmiştir.

Chen vd. (2017) quillaja saponin (QS) kaplı nanodroplet stabilize edilen köpüklerin fonksiyonelliği ve stabilizasyonunu araştırmışlardır. QS kaplı nanodroplet stabilize edilen köpüklerde köpük stabilitesi ve köpük oluşumunun QS ile stabilize edilen köpüklere göre daha fazla olduğu saptanmıştır. Nanodroplet stabilize edilen köpüklerin yarılanma ömrünün QS ile stabilize edilen köpüklerden 4 kat daha fazla olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

#### 4. Köpük Kurutma Çalışmaları

Köpük kurutma tekniği esasen 1900'lü yıllarda süttten süttozu üretimi için geliştirilmiş olmakla beraber endüstriyel üretim potansiyeli taşımaması sebebiyle birçok sıvı gıdanın işlenerek dayanıklı hale getirilmesi çalışmalarına konu olmuştur. Literatürde köpüklenilerek kurutulmuş meyve ve sebzelerle ilgili çok sayıda çalışma yer almaktadır

(Dehghannya vd., 2019; Tavares vd., 2017; Varhan ve Koç, 2017; Sramek vd., 2016; Azizpour vd., 2014, Ravichandran vd., 2013). Bu çalışmalarda sıklıkla köpük oluşumunun, köpük ajanları ve stabilizörlerin kurutmadaki etkileri ve kurutulmuş ürün kalitesi incelenmektedir.

Köpük kurutmadaki başarının belirlenmesinde en etkin ve hemen tüm çalışmalarda kullanılan parametreler kuruma oranı ve hızı, efektif nem difüzyon katsayısı, aktivasyon enerjisi, kuruma süresi ve kurutulmuş ürünün kalite özellikleridir. Kapsamlı bir çalışmada Sangamithra vd. (2016) kavun tozu eldesinde farklı konsantrasyonlarda soya proteini izolatu (%5, 7.5 ve 10), karboksimetil selüloz (% 0, 0.5 ve 1) ve çırpma süresi (2, 4, ve 6 dak) kullanılarak elde edilen köpükleri farklı sıcaklıklarda (50, 60 ve 70°C) sıcak hava ile kurutmuşlardır. %8.71 soya proteini izolatu, %0.54 karboksimetil selüloz ve 5.7dak çırpmanın optimum köpük oluşumunu sağladığı ve bu köpüğün 70°C'de kurutulmasında en yüksek kuruma oranı sağlandığı sonucuna ulaşılmıştır. Köpükendirilerek kurutulan kavun pulplarının efektif nem difüzyon katsayılarının  $(4.13 \times 10^{-10} - 6.7 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s})$  köpürtülmeden direkt kurutulan kavun pulplarına  $(3.75 \times 10^{-10} - 5.33 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s})$  göre daha yüksek olduğu ve dolayısıyla kuruma süresinin daha kısa olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Gupta ve Alam (2014) üzüm konsantrelerinin farklı sıcaklıklardaki (55, 65 ve 75°C) sıcak hava ile kurutulmasında köpükendirilmenin renk ve kütle transferi kinetiklerine etkisini incelemiştir. 55, 65 ve 75°C'lerde kurutulan örneklerden köpükendirilmemiş olanların kuru bazda başlangıç nem içeriğini %150'den kurutma sonunda %14'e indirmek için gereken kuruma süreleri sırasıyla 510, 390 ve 270dak iken %6 yumurta albümini ve %0.3 karboksimetil selüloz ile köpükendirilen ve %162 başlangıç nemindeki örneklerde kurutma süreleri

sırasıyla 405, 330 ve 210dak olarak gerçekleşmiştir. Köpükendirilmemiş örneklerde kurutma sonrası L değerinde doğrusal bir düşüş gözlenmiş yani renkte koyulaşmanın arttığı belirtilmiştir. Ayrıca sıcaklık artışıyla birlikte köpükendirilmemiş örneklerdeki b değeri azalırken köpükendirilmiş örneklerin b değerinin sıcaklık arttıkça yükseldiği sonucuna ulaşılmıştır.

Bir başka çalışmada Rajkumar vd. (2007) köpükendirilerek kurutulmuş mango pulpunun farklı sıcaklıklarda (60, 65, 70 ve 75°C) kurutulmasında kuruma davranışını belirlemek için kesikli çalışan kabin kurutucuda köpük kurutma üzerinde çalışarak köpük ajanı konsantrasyonu, köpük yayma kalınlığı ve kurutma sıcaklığının kuruma süresi, efektif nem difüzyon katsayısı ve kuruma hızı sabitine etkilerini araştırmışlardır. Köpük ajanı olarak yumurta albümini (%5, 10 ve 15) kullanılırken köpük stabilitesini sağlamak için %0.5 metil selüloz kullanılmıştır. Köpükendirilerek farklı kalınlıklarda (1, 2 ve 3mm) yayılan mango pulplarının kuruma süresinin (35dak) köpükendirilmeden kurutulan mango pulpunun kuruma süresinden (75dak) daha kısa olduğu ve efektif nem difüzyon katsayısı  $(9.7 \times 10^{-9} \text{ ile } 5.3 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s})$  ile kuruma hızı sabitinin (k) köpükendirilmiş mango pulpunda daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Denemeler sonucunda %10 yumurta albümini ile %0.5 metil selüloz içeren 1mm kalınlığındaki köpüğün 60°C'de kurutulmasının optimum kurutma şartları olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmaların ışığında laboratuvar tipi kesiksiz çalışan 2.5kg/gün kapasiteli bir kurutma ünitesi geliştirilmiştir.

Diğer bir çalışmada Kandasamy vd. (2014) papaya pulpunun köpük kurutulmasında kurutma parametrelerini optimize etmeyi amaçlamışlardır. Farklı briksteki (7, 8, 9, 10, 11, 12 ve 13) pulplardan köpük oluşturmak için metil selüloz (%0.25, 0.5,

0.75 ve 1), gliserol monostearat (%1, 2, 3 ve 4) ve yumurta beyazı (%5, 10, 15 ve 20) kullanmışlar ve elde ettikleri köpükleri farklı kalınlıklarda (2, 4, 6, 8 ve 10 mm) yayarak farklı sıcaklıklarda (60, 65 ve 70°C) kesikli çalışan kabin kurutucuda kurutmuşlardır. İşlem sonucunda en stabil köpük oluşumu 9briks'li pulpta sırasıyla %0.75 etil selüloz, %3 gliserol monostearat ve %15 yumurta beyazında gözlemlenmiştir. Kurutma süresinin köpük kalınlığının artmasıyla yükseldiği ve kurutma sıcaklığının artmasıyla düştüğü tespit edilmiş ve optimum kurutma şartları 60°C, %3 gliserol monostearat ve 4mm köpük kalınlığı olarak belirlenmiştir.

Galdino vd. (2016) atemoya meyve pulpunun köpük kurutulmasında kuruma eğrilerini Henderson-Pabis, Page ve Midilli yarı teorik modelleri ile modellemişlerdir. Köpük oluşturmak için ticari köpük ajanları (%2 Emustab® ve %2 Super Liga Neutra®) kullanılmış ve 20dak çırpma işlemi uygulanmıştır. Çırpma sonucunda elde edilen köpükler farklı kalınlıklarda (0.5, 1 ve 1.5cm) yayılarak üç farklı sıcaklıkta (60, 70 ve 80°C) kurutulmuştur. Kullanılan modellerde Midilli modeli tüm koşullarda deneysel verilere en iyi uyumu göstermiştir. Kuruma hızının köpük kalınlığına bağlı olduğu ve köpük kalınlığı arttıkça kuruma hızının azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Salahi vd. (2015) da kavun (*Cucumis Melo*) tozu eldesinde köpük stabilitesini yanıt yüzey yöntemi kullanarak belirlemişlerdir. Köpük ajanı olarak yumurta beyazı (%1, 2 ve 3) ve stabilizör olarak ksantan gam (%0.05, 0.13 ve 0.2) kullanılmıştır. Elde edilen köpükler iki farklı kalınlıkta (3 ve 5mm) yayılarak üç farklı sıcaklıkta (40, 55 ve 70°C) kurutulmuştur. Kuruma sonucunda 40, 55 ve 70°C'lerde yapılan kurutma için efektif difüzyon katsayıları 3 ve 5 mm kalınlığındaki köpükler için sırasıyla  $3.283 \times 10^{-9}$ ,  $6.748 \times 10^{-9}$ ,  $9.483 \times 10^{-9}$  ve  $4.053 \times 10^{-9}$ ,  $1.064 \times 10^{-8}$ ,  $1.216 \times 10^{-8} \text{m}^2/\text{s}$  olarak hesaplanmıştır. Aktivasyon

enerjileri ise 3 ve 5mm kalınlığında yayılan köpükler için sırasıyla 30.714 ve 33.043kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Kurutma sıcaklığı ve köpük kalınlığındaki artışa bağlı olarak efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisinin arttığı gözlenmiştir.

## 5. Kuruma Süresine Etkili Faktörler

Sıvı veya sıvılaştırılmış gıdaları köpükendirme temel amacı kurumanın gerçekleşeceği yüzey alanını olabildiğince arttırmaktır. Köpükendirilerek yüzey alanı arttırılan gıdalarda suyun difüzyonu daha kısa sürede gerçekleşmektedir. Ancak kuruma süresi köpük stabilitesi, köpük yayma kalınlığı, kurutma sistemi ve kurutma sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir.

Franco vd. (2016) yakon suyu tozu elde etmek için iki farklı brikste (8 ve 24) yakon suyu ve köpük ajanı olarak yumurta albümini kullanmış ve oluşan köpükler 0.5, 1 ve 1.5cm kalınlıklarda yayarak farklı sıcaklıklarda (50, 60 ve 70 °C) kurutulmuştur. Elde edilen yakon suyu tozlarının fizikokimyasal ve mikro yapısal özellikleri incelendiğinde 0.5cm kalınlığında ve 70°C'de kurutulan yakon tozlarında nem ve  $a_w$  değerlerinin ve kuruma sürelerinin en düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Djaeni vd. (2015) karragenanın kuruma süresini ve kuruma sırasında oluşan kalite kayıplarını belirlemek için köpük kurutma tekniğini kullanmışlardır. Bu çalışmada köpük ajanı olarak kullanılan yumurta akı ve stabilizör olarak kullanılan metil selülozun farklı sıcaklıklarda (60, 80 ve 100°C) ve farklı köpük kalınlığında (2, 3, 4 ve 5mm) yapılan kurutmada kuruma verimine etkisi incelenmiştir. Kurutma sonucunda albüminin karragenanın yüzey alanını arttırarak nem difüzyonunu arttırdığı ve böylece kuruma süresini kısalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

## 6. Köpükendirilmiş Gıdaların Diğer Kurutma Yöntemleri ile Kurutulması



Köpüklendirilmiş gıdadaki nemin uzaklaştırılması amacıyla genellikle konvektif sıcak hava tekniği kullanılmakla beraber farklı kurutma yöntemleri de mevcuttur. Sıcak hava ile kurutmaya göre daha düşük sıcaklıklarda yürütülen mikrodalga veya dondurarak köpük kurutma yaygın uygulanan yöntemlerdendir (Sukkhown vd., 2018; Nistor vd., 2017; Sangamithra vd. 2015; Lattore vd., 2012). Raharitsıfa ve Ratti (2010a, 2010b) elma suyunu köpüklendirilerek ve köpüklendirilmeden dondurarak kuruturken Seerangurayar vd. (2017) ise hurma (khalal, rutab ve tamr) meyvesinden dondurarak köpük kurutmada köpük oluşumunu ve farklı köpük ajanlarının (%40 ve 50 maltodekstrin ve arabik gam) etkilerini incelemiştir. %50 arabik gam kullanılarak elde edilen hurma tozlarında akışkanlığın en yüksek ve yapışkanlığın en düşük değerde olduğunu bulunmuştur. Bu çalışma ile dondurarak köpük kurutmaya yönteminin hurma tozlarının üretilmesinde yüksek potansiyele sahip olabileceği belirtilmiştir.

Bir başka çalışmada ise Zheng vd. (2011) frenk üzümü (*Ribes nigrum* L.) pulpunun mikrodalga destekli köpük kurutulmasında farklı mikrodalga gücü (140, 280, 420, 560 ve 700W), pulp miktarı (20, 35, 50, 65 ve 80g), kurutma süresi (6, 8, 10, 12 ve 14dak) ve köpük kalınlığının (1, 2, 3, 4 ve 5mm) kurutulmuş üzümün nem, C vitamini içeriği ve antosiyanin miktarına etkileri yanıt yüzey yöntemi ile analiz edilmiş ve optimum kurutma koşulları 65g pulpa 8dak çırpma işlemi uygulanılarak elde edilen köpüğün 4.46mm kalınlıkta ve 560W mikrodalga gücünde kurutulması olarak belirlenmiştir.

Yumurta albümini köpüğünün dondurarak köpük kurutulmasını matematik modelleyen Muthukumaran vd. (2008a) köpük stabilizörü olarak farklı konsantrasyonlarda karboksimetil selüloz (%0.25, 0.50, 0.75 ve 1), ksantan gam (%0.125, 0.25, 0.375 ve 1) ve propilen glikol aljinat (%0.25,

0.50, 0.75 ve 1) kullanmışlardır. 4000rpm'de 5dak çırpma işlemi uygulanılarak elde edilen köpükler dondurularak kurutulduğunda %0.125'lik ksantan gamın en uygun stabilizör olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Propilen glikol aljinat artan konsantrasyonda köpüklendirmede daha başarılı sonuçlar verirken karboksimetil selüloz filtreleri tamamen tıkayıp ölçümü engellediği için kullanılmaya uygun görülmemiştir. Muthukumaran vd. (2008b) diğer bir çalışmalarında yumurta albümini kurutulmasında kurutma süresini azaltan ve yüksek kalitede kurumuş yumurta albümini elde edilmesini sağlayan %0.125'lik ksantan gam kullanılarak gerçekleştirilen dondurarak kurutmada kuruma süresi ve difüzyon katsayısını belirlemek için basit modeller uygulamışlardır.

## 7. Köpüklendirilerek Kurutulmuş Gıdaların Özellikleri ve Raf Ömrü Çalışmaları

Kurutma sıcaklığı ve süresi kurutulmuş ürünün besinsel ve fizikokimyasal özelliklerini etkilemektedir. Sritongtae vd. (2017) köpük kurutma ile farklı sıcaklıklarda (60 ve 70°C) kurutulan çimlendirilmiş ve çimlendirilmemiş pirinç hidrolizatlarının fizikokimyasal özelliklerini ve antioksidan aktivitesini belirlemiştir. Pirinç hidrolizat köpüğü %1 karboksimetil selüloz eklenerek 2dak'lık çırpma süresi sonunda elde edilmiş ve 1cm kalınlığında yayılarak sıcak hava kurutucuda kurutulmuştur. Sırasıyla 60 ve 70° C'de kurutulan çimlendirilmiş pirinçlerde antioksidan aktiviteleri 12.5 ve 10.74µmol iken toplam fenolik madde içerikleri 4.14 ve 3.83mg iken bu değerler çimlendirilmemiş örneklerde sırasıyla 8.24, 7.93µmol ve 2.84, 2.63mg olarak bulunmuştur. Çalışma sonucunda kurutma sıcaklığının artmasıyla birlikte antioksidan aktivitesinin ve toplam fenolik madde içeriğinin azaldığını sonucuna ulaşılmıştır (p<0.05).

Branco vd. (2017) köpük oluşumu için iki farklı köpük ajanı kombinasyonu (%3.5 albümin+% 0.25 karboksimetil selüloz+%0.25 ksantan gam ve %7 albümin) uygulayarak gerçekleştirdikleri köpük kurutma ile elde ettikleri uvaia (*Hexachlamys edulis* (O. Berg)) pulpu tozunun kuruma özelliklerini ve kurumuş ürün kalitesini inceleyerek kuruma davranışını matematik modellemişlerdir. Her iki köpük ajanı kombinasyonu için de kuruma eğrileri Page modeli ile uyum göstermiştir. 60 ve 70°C'de gerçekleştirilen kurutmada sadece albümin içeren kombinasyonun kuruma süresinin sıcaklık artışından etkilenmediğini ancak albümin, karboksimetil selüloz ve ksantan gam kombinasyonunda kuruma süresinin sıcaklığa bağlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Kurutma işlemi sonucunda elde edilen iki toz ürün kıyaslandığında albümin, CMC ve ksantan gam içeren toz üründe sadece albümin içeren toz ürüne göre toplam fenolik içeriği ve antioksidan kapasitesinin daha yüksek olduğu ifade edilmiştir.

Lobo vd. (2017) mangonun köpük kurutulmasında köpük stabilizörü olarak soya lesitini ve karboksimetil selüloz kullanmış ve kurutma sıcaklığının (53-87°C) kurutulmuş ürünün toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasitesi üzerine etkilerini incelemiştir. Kuruma sonucunda toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasitesinin soya lesitini ve artan kurutma sıcaklığından olumsuz etkilendiğini ( $p<0.05$ ) ancak karboksimetil selülozün olumlu etki ( $p<0.05$ ) ettiğini tespit etmişlerdir.

Kurutulmuş ürünlerin besinsel içeriklerinin yüksek ve raf ömürlerinin uzun olması tüketici beklentisidir. Standart ve yüksek kaliteli kurutulmuş ürün eldesi kurutmanın etkin ve verimli gerçekleştirilmesine

## 8. Sonuçlar

Yüksek oranda su içermeleri sebebiyle sınırlı raf ömrüne sahip meyve ve sebzeler farklı muhafaza

ihtiyaç duymaktadır. Literatürde köpük kurutma ile elde edilen toz gıdaların raf ömürleri üzerine çalışmalar da yer almaktadır. Wilson vd. (2014) mango (*Mangifera indica*) küspesine köpük oluşturmak için %0, 3, 5, 7 ve 9 yumurta beyazı ilave ederek farklı sıcaklıklarda (65, 75 ve 85°C) kurutma uygulamışlardır. Elde edilen mango tozunu oda şartlarında saklayarak 0, 2, 4 ve 6 aylık periyotlarla fiziko-kimyasal özelliklerini incelemiştir. Yapılan analizler sonucunda 65°C'de kurutulan mango tozunun besinsel içeriğinin daha yüksek ve raf ömrünün daha uzun olduğunu bulmuşlardır. Kaushal vd. (2013) meyve barında kullanılacak yalancı iğde (*Hippophae salicifolia*) tozu üretiminde köpük ajanı olarak farklı konsantrasyonlardaki (%0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 ve 3) karboksimetil selüloz kullanmış, 55°C'de yapılan kurutma, köpüğün nem içeriği yaklaşık %12-14 olduğunda sonlandırılmıştır. Yağlı kağıda sarılarak polietilen torbalarda oda sıcaklığında (14.6-26.1°C) depolanan sülfatlanmış ve sülfatlanmamış meyve pulpundan hazırlanmış meyve barlarının askorbik asit ve toplam karotenoid içerikleri karşılaştırıldığında sülfatlanmış meyve pulpundan üretilen meyve barlarındaki kalite değişikliklerinin çok az olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Depolama koşulları meyve barlarının hafif higroskopik (0.46-0.65) olduğunu ve %46-65 bağıl nemde oda sıcaklığında depolanabileceğini göstermiştir. Kadam vd. (2011) mandalina pulpunu karboksimetil selüloz (%0.25, 0.5, 0.75 ve 1), süt (%3, 5, 7 ve 9) ve yumurta beyazı (% 0.5, 1, 1.5 ve 2) köpük ajanları ile köpükendirip kurutarak 2ay aralıklarla toplam 6 aylık depolamada askorbik asit ve toplam şeker içeriğinin kullanılan köpükendirme ajanına göre değişimini belirlemişler ve karboksimetil selülozün daha uygun bir ajan olduğunu saptamışlardır.

teknikleri ile dayanıklı hale getirilmektedir. Kurutma tekniği en yaygın kullanılan muhafaza yöntemlerindedir. Sıcak hava kurutma tekniği gıda

endüstrisinde yaygın kullanım alanına sahip olmakla beraber sıcak hava ile kurutulmuş gıdaların özelliklerinde olumsuz değişmelere yol açmaktadır. Bu amaçla gıda endüstrisi kurutma süresi ve sıcaklığının düşürülmesini olanaklı kılan yeni veya modifiye kurutma teknikleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Köpük kurutma tekniği sıvı gıdaların köpüklendirilerek kurutma yüzey alanının önemli ölçüde artırılmasını ve kuruma süresinin kısaltılmasını sağlayan bir teknik olarak son yıllarda artan ilgi görmüştür. Köpük kurutma ile elde edilen gıdaların kaliteleri dondurarak veya sprey kurutulmuş ürünlerin kalitesine yakındır ve ürünlerin daha düşük maliyetle elde edilebilmesine ve uzun raf ömürlü olmasına olanak sağlamaktadır.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını belirtmişlerdir.

#### Kaynaklar

- ABBASI, E., AZIZPOUR, M. Evaluation of Physicochemical Properties of Foam Mat Dried Sour Cherry Powder. *LTW- Food Science and Technology*. 63:105-110, 2016.
- AZIZPOUR, M., MOHEBBI, M., KHODAPARAST, M.H.H., VARIDI, M. Optimization of Foaming Parametres and Investigating the Effects of Drying Temperature on the Foam-mat Drying of Shrimp (*Penaeus indicus*). *Drying Technology*. 32:374-384, 2014.
- BINKS, B.P., MUIJLWIJK, K., KOMAN, H., POORTINGA, A.T. Food-grade Pickering Stabilisation of Foams by in Situ Hydrophobisation of Calcium Carbonate Particles. *Food Hydrocolloids*. 63:585-592, 2017.
- BRANCO, I.G., KIKUCHI, T.T., ARGANDONA, E.J.S., MORAES, I.C.F., HAMINIUK, W.I. Drying Kinetics and Quality of Uvaia (*Hexachlamys edulis* (O. Berg)) Powder Obtained by Foam-mat Drying. *International Journal of Food Science and Technology*. 51:1703-1710, 2017.
- CHANDRASEKAR, V., GABRIELA, J.S., KANNAN, K., SANGAMITHRA, A. Effect of Foaming Agent Concentration and Drying Temperature on Pyhsiochemical and Antimicrobial Properties of Foam Mat Dried Powder. *Asian Journal of Dairy and Food Research*. 34(1):39-43, 2015.
- CHEN, X.W., YANG, D.X., ZOU, Y., YANG X.Q. Stabilization and Functionalization of Aqueous Foams by Quillaja Saponincoated Nanodroplest. *Food Research International*, 1-9, 2017.
- DEHGHANNYA, J., POURAHMAD, M., GHANBARZADEH, B., GHAFFARI, H. Influence of Foam Thickness on Production of Lime Juice Powder During Foam-mat Drying: Experimental and Numerical Investigation. *Powder Technology*. 328:470-484, 2018.
- DEHGHANNYA, J., POURAHMAD, M., GHANBARZADEH, B., GHAFFARI, H. Heat and Mass Transfer Enhancement During Foam-mat Drying Process of Lime Juice: Impact of Convective Hot Air Temperature. *International Journal of Thermal Sciences*. 135:30-43, 2019.
- DJAENI, M., PRASETYANINGRUM, A., SASONGKO, S.B., WIDAYAT, W., HIL, L.C. Application of Foam-mat Drying with Egg White for Carrageenan: Drying Rate and Product Quality Aspects. *Journal of Food Science and Technology*. 52(2):1170-1175, 2015.
- FERNANDES, R.V.B., QUEIROZ, F., BOTREL, D.A., ROCHA V.V., LIMA, C.F., SOUZA, V.R. Foam Mat Drying of Tomato Pulp, *Biosci. J., Uberlandia*. 29(4):816-825, 2013.
- FRANCO, T.S., PERUSSELLO, C.A., ELLENDERSEN, L.N., MASSON, M.L. Effect of Foam Mat Drying on Physicochemical and Microstructural Properties of Yacon Juice Powder. *LTW Food Science and Technology*. 66:503-513, 2016.
- GALDINO, P.O., FIGUEIREDO, R.M.F., QUEIROZ, A.J.M. Drying Kinetics of Atemoya Pulp. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 20:672-677, 2016.
- GUPTA, K., ALAM, M.S. Mass and Color Kinetics of Foamed and Non Foamed Grape Concentrate During Convective Drying Process: A Comparative Study. *Journal of Food Engineering and Technology*. 6(4):48-67, 2014.
- KADAM, D.M., BALASUBRAMANIAN, S. Foam Mat Drying of Tomato Pulp. *Journal of Food Processing and Preservation*. 35:488-495, 2011.
- KADAM, D.M., RAI, D.R., PATIL, R.T., WILSON, R.A., KAUR, S., KUMAR, R. Quality of Fresh and Stored Foam Mat Dried Mandarin Powder. *International Journal of Science and Technology*. 46:793-799, 2011.
- KADAM, D.M., WILSON, R.A., KAUR, S., MANISHA, S. Influence of Foam Mat Drying on

- Quality of Tomato Powder. *International Journal of Food Properties*. 15(1):211-220, 2012a.
- KADAM, D.M., WILSON, R.A., KAUR, V., CHADHA, S., KAUSHIK, P., KAUR, S., PATIL, R.T., RAI, D.R. Physicochemical and Microbial Quality Evaluation of Foam-mat-dried Pineapple Powder. *International Journal of Food Science and Technology*. 47:1654-1659, 2012b.
- KANDASAMY, P., VARADHRAJU, N., KALEMULLAH, S., MALADHI, D. Optimization of Process Parametres for Foam-mat Drying of Papaya Pulp. *Journal of Food Science Technology*. 51:2526-2534, 2014.
- KAUSHAL, M., SHARMA, P.C., SHARMA, R. Formulation and Acceptability of Foam Mat Dried Seabuckthorn (*Hippophae salicifolia*) Leather. *Journal of Food Science and Technology*. 50(1):78-85, 2013.
- LATTORE, M.E., BONELLI, P.R., ROJAS, A.M., GERSCHENSON, L.N. Microwave Inactivation of Red Beet (*Beta vulgaris* L. var. *conditiva*) Peroxidase and Polyphenoloxidase and the Effect of Radiation on Vegetable Tissue Quality. *Journal of Food Engineering*. 109:676-684, 2012.
- LOBO, F.A., NASCIMENTO, M.A., DOMINGUES, J.R., FALCAO, D.Q., HERNANZ, D., HEREDIA, F.J., ARAUJO, K.G.L. Foam Mat Drying of Tommy Atkins Mango: Effects of Air Temperature and Concentrations of Soy Lecithin and Carboxymethylcellulose on Phenolic Composition, Mangiferin and Antioxidant Capacity. *Food Chemistry*. 221:258-266, 2017.
- MUTHUKUMARAN, A., RATTI, C., RAGHAVAN, V.G.S. Foam-Mat Freeze Drying of Egg White and Mathematical Modeling Part I Optimization of Egg White Foam Stability. *Drying Technology*. 26:508-512, 2008a.
- MUTHUKUMARAN, A., RATTI, C., RAGHAVAN, V.G.S. Foam-Mat Freeze Drying of Egg White-Mathematical Modeling Part II: Freeze Drying and Modeling. *Drying Technology*. 26:513-518, 2008b.
- NG, M.L., SULAIMAN, R. Development of Beetroot (*Beta vulgaris*) Powder Using Foam Mat Drying. *LWT-Food Science and Technology*. 88:80-86, 2018.
- NISTOR, O.V., SEREMET, L., ANDRONOIU, D.G., RUDI, L. Influence of Different Drying Methods on the Physicochemical Properties of Red Beetroot (*Beta vulgaris* L. var. *Cylindra*). *Food Chemistry*. 236:59-67, 2017.
- PASBAN, A., MOHEBB, M., POURAZARANG, H., VARIDI, M., ABBASI, A. Optimization of Foaming Condition and Drying Behavior of White Button Mushroom (*Agaricus Bisporus*). *Journal of Food Processing and Preservation*. 39:737-744, 2015.
- RAHARITSIF, N., RATTI, N. Foam-mat Freeze-drying of Apple Juice Part 2: Stability of Drying Storage. *Journal of Food Process Engineering*. 33:341-364, 2010b.
- RAHARITSIFA N., GENOVESE, D.B., RATTI, N. Characterization of Apple Juice Foams for Foam-mat Drying Prepared with Egg White Protein and Methylcellulose. *Journal of Food Science*. 71:142-151, 2006.
- RAHARITSIFA, N., RATTI, N. Foam-mat Freeze-drying of Apple Juice Part 1: Experimental Data and ANN Simulations. *Journal of Food Process Engineering*. 33:268-283, 2010a.
- RAJKUMAR, P., KAILAPPAN, P., VISWANATHAN, R., RAGHAVAN, G.S.V. Drying Characteristics of Foamed Alphonso Mango Pulp in a Continuous Type Foam Mat Dryer. *Journal of Food Engineering*. 79:1452-1459, 2017.
- RAVICHANDRAN, K., SAW, N.M.M.T., MOHDALY, A.A.A., GABR, A.M.M., KASTELL, A., RIEDEL, H., CAI, Z., KNORR, D., SMETANSKA, I. Impact of Processing of Red Beet on Betalain Content and Antioxidant Activity. *Food Research International*. 50:670-675, 2013.
- SALAH, M.R., MOHEBBI, M., TAGHIZADEH, M. Foam-mat Drying of Cantaloupe (*Cucumis Melo*): Optimization of Foaming Parameters and Investigating Drying Characteristics. *Journal of Food Processing and Preservation*. 39:1798-1808, 2015.
- SANGAMITHRA, A., VENKATACHALAM, S., SWAMY, G.J., KUPPUSAMY, K. Optimization of Foaming Properties Foam Mat Drying of Muskmelon Using Soy Protein. *Journal of Food Process Engineering*. 39:692-701, 2016.
- SANGAMITHRA, A., VENKATACHALAM, S., JOHN, S.G., KUPPUSWAMY, K. Foam Mat Drying of Food Materials: A Review. *Journal of Food Processing and Preservation*. 39:3165-3174, 2015.
- SEERANGURAYAR, T., MANICKAVASAGAN, A., AL-ISMAILI, AM., AL-MULLA, Y.A. Effect of Carrier Agents on Flowability and Microstructural Properties of Foam-mat Freeze Dried Date Powder. *Journal of Food Engineering*. 1-11, 2017.
- SRAMEK, M., WOERZ, B., HORN, H., WEISS, J., KOHLUS, R. Preparation of High-grade Powders from Honey-glucose Syrup Formulations by Vacuum Foam-drying Method. *Journal of Food Processing and Preservation*. 40:790-797, 2016.

SRITONGTAE, B., MORGAN, M.R.A., DUANGMA, K. Drying Kinetics, Physico-chemical Properties, Antioxidant Activity and Phenolic Composition of Foam-mat Dried Germinated Rice Bean (*Vigna umbellata*) hydrolysate. *International Journal of Food Science and Technology*. 52:1710-1721, 2017.

SUKKHOWN, P., JANGCHUD, K., LORJAROENPHON, Y., PIRAK, T. Flavored-functional Protein Hydrolysates from Enzymatic Hydrolysis of Dried Squid By-products: Effect of Drying Method. *Food Hydrocolloids*. 76:103-112, 2018.

TAVARES, I.M.C., NOGUEIRA, T.Y.K., MAURO, MA., GOMEZ-ALONSO, S., GOMES, E., DA-SILVA, R., HERMOSIN-GUTIERREZ, I. Dehydration of Jambolan [*Syzygium cumini* (L.)] Juice During Foam Mat Drying: Quantitative and Qualitative Changes of the Phenolic Compounds. *Food Research International*. 102:32-42, 2017.

THUWAPANICHAYANAN, R., PRACHAYAWARAKORN, S., SOPONRONNARIT, S. Drying Characteristics and Quality of Banana Foam Mat. *Journal of Food Engineering*. 86:573-583, 2008.

VARHAN, E., KOÇ, M. Köpük Kurutma Yöntemi ile Gıdaların Kurutulması. *Türk Tarım - Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(6):637-645, 2017.

WILSON, RA., KADAM, D.M., CHADH, S., GREWAL, M.K., SHARMA, M. Evaluation of Physical and Chemical Properties of Foam-mat Dried Mango (*Mangifera indica*) Powder During Storage. *Journal of Food Processing and Preservation*. 38:1866-1874, 2014.

ZHENG, X.Z., LIU, C.H., ZHOU, H. Optimization of Parameters for Microwave-Assisted Foam Mat Drying of Blackcurrant Pulp. *Drying Technology*, 29:230-238, 2011.