

KIRGIZİSTAN – TÜRKİYE MANAS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HALKA KEK PİŞİRİLMESİNİN ISI VE KÜTLE
TRANSFERİ OLARAK MATEMATİKSEL
MODELLENMESİ**

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Aybek BÖDÖŞOV

BİŞKEK 2011

KIRGIZİSTAN – TÜRKİYE MANAS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HALKA KEK PİŞİRİLMESİNİN ISI VE KÜTLE
TRANSFERİ OLARAK MATEMATİKSEL
MODELLENMESİ**

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Aybek BÖDÖŞOV

Danışman

Prof. Dr. Coşkan ILICALI

BİŞKEK 2011

KIRGIZISTAN – TÜRKİYE MANAS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

.....

Gıda Mühendisliği Bilim Dalı öğrencisi 0851Y04002 numaralı Aybek Bödoşov'un hazırladığı 'HALKA KEK PİŞİRİLMESİNİN ISI VE KÜTLE TRANSFERİ OLARAK MATEMATİKSEL MODELLENMESİ' konulu Yüksek Lisans ile ilgili tez savunma sınavı 07/06/2011 yılı günü saatleri arasında yapılmıştır, adayın tezinin(başarılı / başarısız) olduğuna
..... (oy birliği / oy çokluğu) ile karar verilmiştir.

Üye (Tez Danışmanı)
Prof. Dr. Coşkan ILICALI
Kırgızistan – Türkiye Manas
Üniversitesi

Üye
Prof. Dr. Ali Osman SOLAK
Kırgızistan – Türkiye Manas
Üniversitesi

Üye
Doç. Dr. Anarseyit DEYDİYEV
Kırgızistan – Türkiye Manas
Üniversitesi

Üye
Dr. Camila SMANALİYEVA
Kırgızistan – Türkiye Manas
Üniversitesi

Üye
Doç. Dr. Klara KOCOBKOVA
İ. Razzakov Kırgız Milli Teknik
Üniversitesi

Üye
Prof. Dr. Zafer GÖNÜLALAN
Kırgızistan – Türkiye Manas
Üniversitesi

Üye
Doç. Dr. Nurudin KIDIRALİYEV
Kırgızistan – Türkiye Manas
Üniversitesi

07/06/ 2011

ЧЕЧИМ

Кыргыз-Түрк Манас университетинин Табигый илимдер институтунун экзамендик инструкциясынын жобосун,.....№ жыйынында уюшулган комиссия, Тамак-аш инженерия бөлүмүнүн магистранты Айбек Бөдөшов «Тегерек формадагы кекс азыгын бышыруудагы жүрүүчү жылуулук жана масса алмашуу процесстердин Математикалык Моделдерин иштеп чыгуу» темасында жазган магистрдик диссертациясын анализдеп, 07/06/2011 ж. саат 14-00 дө жактоого кабыл алды.

Магистрантминута убакыт ичинде дипломдук проекттин жактап, комиссия.....(*көпчүлүк добуш менен/бир добуштан*).....
(*Кабыл алынбайт/ Кабыл алынсын /Кайра оңдолсун*) деген чечим чыгарды.

Жюри төрагасы

т.и.к., доцент Кожобекова Клара

Жюри мүчөсү

док., профессор Жошкан Ылыжалы

Жюри мүчөсү

док., профессор Али Осман Солак

Жюри мүчөсү

док., профессор Зафер Гөнүлалан

Жюри мүчөсү

т.и.к., доцент Дейдиев Анарсейит

Жюри мүчөсү

т.и.к., доцент Кыдыралиев Нурудин

Жюри мүчөсү

PhD. Сманалиева Жамила

07/06/2011

ÖZ

Yazar/Даярдаган : Aybek Bödöşov / Айбек Бөдөшов
Üniversite/Университет : Kırgızistan –Türkiye Manas Üniversitesi
Anabilim Dalı/ : Gıda Mühendisliği/Тамак-аш инженерия
Bilim Dalı/ Багыты : Gıda Mühendisliği/Тамак-аш инженерия
Tezin Niteliği / Иштин сапаты : Yüksek Lisans Tezi/Магистрдик Диссертация
Sayfa Sayısı / Беттердин саны : XV + 86
Mezuniyet Tarihi / Бүтүрүү датасы : 07/06/2011
Tez Danışmanı / Илимий жетекчи : Prof. Dr. Coşkan ILICALI

HALKA KEK PİŞİRİLMESİNİN ISI VE KÜTLE TRANSFERİ OLARAK MATEMATİKSEL MODELENMESİ

Öz

Bitirme Tez amacım halka kek pişirilmesinin ısı ve kütle transferi olarak matematiksel modellenmesidir, yani fırın ürünlerinin üretimindeki en önemli olan pişme prosesindeki ısı ve kütle transfer olaylarını matematiksel olarak açıklamaya çalışmak ve bu prosesi simüle eden uygun bir matematiksel model geliştirmektir. İyi bir mühendis veya gıdacı deneme yanılma yoluyla küçük miktardaki bir ürün için uygun pişirme koşullarını belirleyebilir. Ancak endüstriyel boyutta böyle bir yöntem ne kadar enerji, iş gücü ve optimum şartların belirlenmesinde kullanılamaz. Endüstri üretiminde üretim zamanı, enerji ve işgücü kayıplarını en aza indirerek optimum şartlarda çalışmak en önemli hedeftir. Yüksek enerji tüketimi olan fırında pişirme işlemi; yüksek kapasiteli üretim sırasında, hatalı ürün riskine girmeden yapılmalıdır. Bu amacı yapabilmek için bir bilgisayar programı gerekmektedir. Böyle bir programı yazmadan önce pişme süresindeki gerçekleşen bütün prosesleri açıklayan bir matematiksel modelleme yapılmalıdır. Matematiksel Modelleme ürün ile fırın arasında gerçekleşen prosesleri açıklayan, matematiksel kanunlara dayanlı bir matematiksel açıklamadır. Materyal olarak Sakin (2005) tarafından Basic dilinde sonlu silindir geometrisindeki kekler için hazırlanan ve daha sonra Ilıcalı (2010) tarafından Fortran diline çevrilmiş bilgisayar programı temel alınmıştır. Önce kap kek için bilgisayar programı sonsuz levha ve sonsuz silindir geometrileri için ısı ve kütle transferi açısından kontrol edilmiş ve programın düzgün ve doğru sonuçlar vererek çalıştığı belirlenmiştir. Kullanılacak bilgisayar programının analitik çözümlerle uyumlu sonuçlar vermesi, bu programın halka kek için kullanılabilmesinin ön şartıdır. İki geometri: sonsuz levha ve sonsuz silindir için 4 çeşitli isimdeki (kodlardaki) 1) chti, 2) chtic, 3) cmti, 4) cmtic kontrol programlar elde edilmiştir. Sonra kontrolden geçen program bir Halka kek türü için bir matematiksel model oluşturularak çalıştırıldı. Oluşturulan halka kek modeli kütle transferi açısından iki analitik çözümle karşılaştırıldı. Halka kek için bu programlar yeni Fortran 95 programında 2 çeşitli kod verilerek 1) Halkek. f90 ve 2) ringcakebaking. f90 edildi. Oluşturulan modelin öngörülerinin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması ve analiz edilmesi yapıldı. Halka kek için hazırladığımız programın sonuçları karşılaştırmak için deneysel değerler olarak Sakin (2010) basılmamış araştırma sonuçları kullanılmıştır. Halka kek için ısı ve kütle transferi açısından değerleri öngörebilmektedir ve bu noktada bitirme tez amacına ulaştığı söylenebilir. Bu çalışmanın sonuçları, endüstride üretim esnasında iş gücü ve enerji tasarrufu, işlem optimizasyonu, tasarım açılarından yararlı bulunacağı düşünülmektedir.

Anahtar Sözcükler: Halka kek, ısı ve kütle transferi, matematiksel modelleme, Fick denklemi, Fourier denklemi, Fortran bilgisayar programı

MATHEMATICAL MODELING FOR HEAT AND MASS TRANSFER DURING RING (ROUND) CAKE BAKING IN A CONVECTIVE OVEN.

Abstract

The purpose of the given work is working out of mathematical model for predetermination heat and mass transfer processes at a batch of fruitcakes of the district form. As all of us know manufacture of bakeries of products demands big volume energy resources and heat. In manufacture it is very important with small expenses under optimum conditions to make high-quality production. For this purpose it is necessary definition all proceeding processes of manufacture and to find the most optimum variant. It can make the computer more precisely the computer program written through mathematical model. Modeling is operation where on the basis of mathematical canons there is a formulation of every possible processes (physical, chemical, heat transfer, mass transfer etc.) and calculation (scaling) the set parameters through the computer at a product batch. As the basic material for final work have served, articles and computer programs of the Prof. Doc. Joshkan Ilicali which many long years works in area heat and mass transfer manufacture processes, and also work teacher of Ege University Doc. Melike Sakin which has developed mathematical model in computer language Basic for a squared shape fruitcake. We modify the computer program Melik Sakin's for a fruitcake of the district form a ring kind, and also we develop model in computer language Fortran. The name «Pan.for» is given to the received program. At first the program «Pan.for» will be checked up on definitions of profiles of heat and mass transfer at forms of an infinite wall and the infinite cylinder. For this purpose we modified the initial program «Pan.for» and changed it in the necessary parameters for us. We have received 4 different programs under codings: 1) chtiw, 2) chtic, 3) cmtiw, 4) cmtic. The received results of these of 4 programs have been compared with analytic results which calculated by certain formulas. The received results have shown that programs work correctly. The computer program «Pan.for» has been fulfilled on different conditions the task where has been shown its sensitivity and possibility of erroneous answers. The given program is taken for working out of the final program for a fruitcake of the district form and is written on the new computer program Fortran95. The received program has received a code «Halkakek.f90» that means a fruitcake of the district form. The program it has separately been checked for heat and for mass transfer processes, as in the previous programs. Results of the given program have been compared with analytic results which were calculated with formula and which were taken from the program Doc. Melike Sakin. Indicators for mass transfer process were identical with analytic results, and indicators heat transfer process received during work of our program coincided on a profile of temperatures but were a little bit different in an indicator of figures. Despite it the program has proved in reliability. We can tell confidence that the program «Halkakek.f90» can be applied in practice as shows good result in application. I hope that the given work will allow reducing energy expenses in manufacture, to find optimum or the work variant is closer to these conditions, to reduce expenses on energy resources and to facilitate so difficult process as a batch of bakeries of products.

Key words: Circle cake, heat and mass transfer, Fick's law, Fourier's equation
FORTRAN computer programme

ТЕГЕРЕК ФОРМАДАГЫ КЕКС АЗЫГЫН БЫШЫРУУДАГЫ ЖҮРҮҮЧҮ ЖЫЛУУЛУК ЖАНА МАССА АЛМАШУУ ПРОЦЕССТЕРДИН МАТЕМАТИКАЛЫК МОДЕЛИН ИШТЕП ЧЫГУУ.

Кыскача мазмуну

Бул дипломдук ишимде мен конвекциялык меште тегерек формадагы кекс азыгын бышырууда жүрүүчү жылуулук жана масса алмашуу процесстери үчүн математикалык моделди иштеп чыгууну максат катары койгом. Тажрыйбалуу бир технолог кандайдыр бир божомол жолу менен аз көлөмдөгү кандайдыр бир азыкты бышырууда оптималдуу бышыруу шарттарын божомол жолу менен таап айта алышы ыктымал. Бирок өндүрүштүк масштабда азык өндүрүүдө божомолдоо мүмкүн эмес жана ал маселе туудурушу мүмкүн. Өндүрүштө энергия жана иш күчүн экономдоо менен сапаттуу азык өндүрүү эң негизги максаттардын бири болуп саналат. Көп энергияны талап кылуучу нан азыктар өндүрүшүндө өндүрүшчүлөрдүн ишмердүүлүгү бышыруу процесси аз энергиялык чыгаша менен жогорку сапаттагы азыкты өндүрүүгө багытталган. Бул өндүрүштөгү ар бир процесстин алдын ала эсептеп көрө билүү, оптималдык шарттарда иштөө дегендике жатат. Мындай эсептөөлөрдү компьютер тактап айтканда компьютердик программа жасай алат. Компьютердик программа алдын ала даярдалган математикалык моделдин негизинде жазылат. Моделдөө бул азыкты бышыруу учурунда жүрүүчү физикалык, химиялык, биохимиялык процесстердин математикалык канондор менен таанылып, формулировкага алынып, даярдалган формуланы компьютердин эсептөөсү менен жүргүзүүчү иш операция болуп саналат. Бүтүрүү жумушумдун негизги материалдары катары бул тармакта көп жылдар бою иштеп келген Проф. Док. Жошкан Ылыжалынын жылуулук жана масса алмашуу процесстерине тиешелүү макалалары, Фортран компьютердик тилинде жазган программалары, ошондой эле Эге Университетинин ага окуутучусу Мелике Сакиндин компьютердик Basic тилинде жазылган чексиз цилиндр формасындагы кекс азыгы үчүн даярдалган программасы алынды. Бул компьютердик программаны биз тегерек формадагы кекс азыгы үчүн жана Fortran программалоо тилине которуу менен аны модификацияладык. Алгач модификациялаган программаны жылуулук жана масса алмашуу профилдерин чексиз цилиндр жана чексиз дубал геометриялары үчүн иштетүү менен программаны текшерүүдөн өткөрдүк. Ал үчүн биз «Pан.fог» программасын керектүү шарттарга жараша өзгөртүү менен модификациялап 4 түрдүү коддогу программаларды: 1) chtiw, 2) chtic, 3) cmtiw, 4) cmtic алдык. Программалар берген жыйынтыктар аналитикалык жыйынтыктар менен салыштырылып текшерилди. Туура жыйынтыктарды алуу менен программанын ар кандай параметрлердеги сезгичтүүлүгү текшерилди. Бардык текшерүүдөн өткөн программаны тегерек кекс азыгы үчүн жарактуу деп табып, аны тегерек формадагы кекс үчүн модификацияладык. Бул программа жаңы Фортран 95 компьютердик программасында даярдалып «Halkakek.f90» коду менен аталды. Жыйынтыктарды белгилүү болгон формулалар менен сандык эсептөө жүргүзүү менен жана ошондой эле Эге Университетинин окуутучусу т.и.к. Мелике Сакиндин «Basic» тилинде жазылган программасы берген жыйынтыктар менен текшерип салыштырганбыз. Натыйжада масса алмашуу процесси үчүн программа берген жыйынтыктар аналитикалык катары салыштырган жыйынтыктар менен дал келген жыйынтыктарды көрсөтсө, ал эми жылуулук алмашуу процесси үчүн алынган температуралык көрсөткүчтөр профил жагынан окшош, сан маанилер боюнча бир аз айырма көрсөттү. Буга карабастан «Halkakek.f90» программасы жакшы жыйынтыктарды берүү менен иш жүзүндө да жакшы жыйынтыктарды бере алат деп толук айта алабыз. Бул иштин жыйынтыктары өндүрүштөгү процесстердин оптималдуу шарттарын табууга, иш күчү менен энергиянын сарпталышын азайтуу менен өндүрүшкө жеңилдик алып келе алат деген ишеничтемин.

Негизги сөздөр: кекс азыгы, жылуулук жана масса алмашуу процесстери, Фик теңдемеси, Фурье теңдемеси, Фортран программасы

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛО И МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВЫПЕЧКЕ КЕКСОВ ОКРУЖНОЙ ФОРМЫ

Абстракт

Целью данной работой является разработка математической модели для предопределения тепло и массообменных процессов при выпечке кексов окружной формы. Как мы все знаем производство хлебо-булочных продуктов требует большое количество энерго ресурсов и теплоты. В производстве очень важно с малыми затратами при оптимальных условиях производить высококачественную продукцию. Для этого нужно предопределять все протекающие процессы производства и находить самый оптимальный вариант. Это может сделать компьютер точнее компьютерная программа написанная через математическую модель. Моделирование это операция где на основе математических канонов идет формулировка всевозможных процессов (физических, химических, теплообменных массообменных и т.д.) и вычисление заданных параметров через компьютер при выпечке продукта. Основным материалом для выпускной работы послужили, статьи и компьютерные программы Проф. Док. Жошкан Ылыжалы который долгие годы работает в области тепло и массообменных процессов производства, а также работы преподавателя Эгейского Университета к.т.н. Мелике Сакина, которая разработала математическую модель на компьютерном языке Basic для кекса прямоугольной формы. Мы модифицируем компьютерную программу Мелике Сакина для кекса окружной формы виде кольца, а также разрабатываем модель на компьютерном языке Fortran. Полученной программе дается наименование «Pan.for». Сначала программа «Pan.for» будет проверяться на определения профилей теплоты и массообмена при формах бесконечной стены и бесконечного цилиндра. Для этого мы модифицировали начальную программу «Pan.for» и изменяли его в нужных для нас параметрах. Мы получили 4 разных программ по кодировкам: 1) chtiw, 2) chtic, 3) cmtiw, 4) cmtic. Полученные результаты этих 4-х программ были сравнены с аналитическими результатами которые вычислялись определенными формулами. Полученные результаты показали что программы работают правильно. Компьютерная программа «Pan.for» была отработана на разных условиях задания где было продемонстрировано ее чувствительность и возможность ошибочных ответов. Данная программа была взята для разработки конечной программы для кекса окружной формы и написана на новой компьютерной программе Фортран95. Полученная программа получила код «Halkakek.f90», что означает кекс окружной формы. Программа отдельно было проконтролировано для теплообменных и для массообменных процессов, как в предыдущих программах. Результаты данной программы были сравнены с аналитическими результатами которые были вычислены формулами и которые были взяты от исследований преподавателя Эгейского Университета к.т.н. Мелике Сакина. Показатели для массообменного процесса были идентичны с аналитическими результатами, а показатели теплообменного процесса полученные в ходе работы нашей программы совпадали по профилю температур но были немножко разными по показателю цифровых данных. Несмотря на это программа проявила себя в надежности. Мы можем уверенностью сказать что программа «Halkakek.f90» может применяться в практике так как показывает хороший результат в применении. Я надеюсь что данная работа позволит уменьшить энерго затраты в производстве, найти оптимальный или же ближе к этим условиям вариант работы, уменьшить затраты на энерго ресурсы и облегчить столь сложный процесс как выпечка хлебо-булочных изделий.

Ключевые слова: кекс окружной формы, тепло и массообмен, уравнения Фика, уравнения Фурье, компьютерная программа Фортран.

İÇİNDEKİLER

GİRİŞ	1
1. BÖLÜM. KEK ÜRETİM TEKNOLOJİSİNDEKİ GENEL ÖZELLİKLER VE MATEMATİKSEL MODELLEME	
1.1. Kek ürünü, üretim teknolojisi ve özellikleri	4
1.1.1 Kek üretim teknolojisi	5
1.1.2 Kek üretiminde kullanılan fırınlar	7
1.2 Matematiksel Modelleme	9
1.3 Önceki çalışmalar	10
1.4 Isı ve kütle transferi Matematiksel Modeli	13
1.4.1 Isı transfer matematik modeli	14
1.4.2 Kütle transfer matematik modeli	14
1.5 İki boyutlu eşzamanlı ısı ve kütle transferi Matematiksel Modeli	15
2. BÖLÜM. MATERYAL VE METOD	
2.1. MATERYAL	17
2.2. Yöntem	18
2.2.1 Matematik Modelin çözümü	18
2.2.2 İki boyutlu matematik modelin sayısal çözümü	19
2.2.3 Sayısal çözümün analitik çözümle doğrulanması	22
2.2.3.1 Isı transfer kontrolü	22
2.2.3.1.1 Sonsuz levha için ısı transfer kontrolü	23
2.2.3.1.2 Sonsuz silindir için ısı transfer kontrolü	26
2.2.4 Kütle transfer kontrolü	27
2.2.4.1 Sonsuz levha için kütle transfer kontrolü	27
2.2.4.2 Sonsuz silindir için kütle transfer kontrolü	28
2.3.3 Isı ve kütle transfer özelliklerinin belirlenmesi	29
2.3.3.1 Isıl iletkenlik katsayısı	29
2.3.3.2 Konvektif kütle transfer katsayısı	30
2.3.3.3 Görünür nem difüzivitesi	31
2.3.3.4 Yüzey ısı transfer katsayısı	32

2.3.3.5 Isıl difüzivite	32
2.4 Veri Analizi	32
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	33
3.1 Halka kek için kontrol programlar	33
3.2 Ring. For control programı	34
3.3 Halkek.f90 kontrol programı	36
3.4 Halkakek.f90 programı	39
3.3.1 Kütle transfer kontrolü	40
3.4 Sıcaklık profiller	44
4. SONUÇ	49
5. DEĞERLENDİRME ve ÖNERİLER	51
6. ÖZET	52
7. KAYNAKLAR	53
8. EKLER	57

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo No.	Açıklama	Sayfa
Tablo 1.1	Kek üretiminde kullanılan fırınlar	7
Tablo 1.2	Bazı keklerin fırında pişirme koşulları	8
Tablo 1.3	Kek hamuru için kullanılan biçimlerin ölçümleri	8
Tablo 2.1	Sonsuz levha için chtiw kontrol programının verdiği sonuçlar	23
Tablo 2.2	Levha, silindir ve küre geometrileri için katsayılar	24
Tablo 2.3	Sonsuz levha için chtiw programının sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırılması	25
Tablo 2.4	Sonsuz silindir için chtic programının sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırılması	26
Tablo 2.5	Sonsuz levha için cmtiw programının sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırılması	28
Tablo 2.6	Sonsuz silindir için cmtic programının sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırılması	29
Tablo 3.1	Merkez sıcaklığın zamanla değişimi	35
Tablo 3.2	Halkek.f90 program sonuçlarının analitik sonuçlarla karşılaştırılması	37
Tablo 3.3	$Bi = \infty$, Halkek.f90 program sonuçlarının analitik sonuçlarla karşılaştırılması	37
Tablo 3.4	Ortalama nem konsantrasyonuna değerlerin karşılaştırılması	38
Tablo 3.5	165 °C sıcaklıkta iç yüzeydeki nem konsantrasyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması	40
Tablo 3.6	165 °C sıcaklıkta alt yüzeydeki nem konsantrasyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması	40
Tablo 3.7	165 °C sıcaklıkta üst yüzeydeki nem konsantrasyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması	41
Tablo 3.8	185 °C sıcaklık değerinde alt, üst ve iç yüzeylerdeki nem konsantrasyonlar	42

TABLolar LİSTESİ DEVAMI

Tablo 3.9	205 °C sıcaklık değeriinde alt, üst ve iç yüzeylerdeki nem konsantrasyonlar	43
Tablo 3.10	185 °C sıcaklığında üst yüzeylerdeki nem konsantrasyonunun 11 ve 22 noud sayısına göre alınmış değeriilerin karşılaştırılması	44
Tablo 3.11	185 °C iç karışım ($r = 7,5$ cm; $h = 3,5$ cm) bölgesindeki deneysel ile sayısal sıcaklık değeriilerin karşılaştırılması	46
Tablo 3.12	185 °C annülüs iç duvar ($r = 4$ cm; $h = 1,5$ cm) bölgesindeki deneysel ve sayısal sıcaklık değeriilerin karşılaştırılması	47
Tablo 3.13	185 °C alt yüzey ($r = 8$; $h = 0$) bölgesindeki sıcaklık değeriiler	47

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil No.	Açıklama	Sayfa
Şekil 1.1	Sonsuz silindir için z yönünde eşzamanlı ısı ve kütle transferi	13
Şekil 1.2	Sonsuz silindir için iki boyutlu eşzamanlı ısı ve kütle transferi	16
Şekil 2.1	Halka kek ve halka kek için alüminyum kek kalıbı	17
Şekil 2.2	Sıcaklık profillerinin ölçümü	18
Şekil 2.3	Sonsuz silindir kafes sistemi	19
Şekil 2.4	Halka kek pişirilmesinin ısı ve kütle transferin sayısal çözüm programın çalışma şeması	21
Şekil 2.5	Sonsuz levha için chtiw kontrol programının sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırma grafiği	26
Şekil 2.6	Sonsuz silindir için chtic programının sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırma grafiği	27
Şekil 2.7	Sonsuz levha için cmtiw kontrol programının sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırma grafiği	28
Şekil 2.8	Sonsuz silindir için cmtiw kontrol programının sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırma grafiği	29
Şekil 3.1	Ring.for programının yuvarlak kek merkez bölgesindeki sıcaklık değişimi	34
Şekil 3.2	Zamanla ortalama nem konsantrasyonunun değişimi	35
Şekil 3.3	Ring.for program ve Dr. Melike Sakin program sonuçlarının karşılaştırılması	36
Şekil 3.4	Halkek.f90 program sonuçlarının analitik sonuçlarla karşılaştırılması	37
Şekil 3.5	$Bi = \infty$, Halkek.f90 program sonuçlarının analitik sonuçlarla karşılaştırılması	38

ŞEKİLLER LİSTESİ DEVAMI

Şekil 3.6	Halkek.f90 program sonuçlarının ortalama nem konsantrasyonuna göre analitik sonuçlarla karşılaştırılması	39
Şekil 3.7	165 °C sıcaklıkta alt yüzeydeki nem konsantrasyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılma grafiği	41
Şekil 3.8	165 °C sıcaklıkta üst tabandaki nem konsantrasyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılma grafiği	41
Şekil 3.9	185 °C sıcaklık değerinde iç ve alt yüzeylerdeki deneysel ile sayısal değerlerin karşılaştırılma grafiği	42
Şekil 3.10	185 °C sıcaklık değerinde üst yüzeydeki deneysel ile sayısal değerlerin karşılaştırılma grafiği	43
Şekil 3.11	205 °C sıcaklık değerinde alt ve üst yüzeylerdeki nem konsantrasyonların deneysel ile sayısal değerlerin karşılaştırılması	43
Şekil 3.12	185 °C’de alt, üst ve iç yüzeylerdeki Ringcakebaking. f90 program ile Sakin (2005) sıcaklık dağılımların karşılaştırılması	45
Şekil 3.13	185 °C iç karışımdaki sıcaklıkların deneysel değerler ile karşılaştırılması	46
Şekil 3.14	185 °C annülüs iç duvardaki sıcaklıkların deneysel değerler ile karşılaştırılma grafiği	47
Şekil 3.15	185 °C alt yüzey sıcaklıkların deneysel değerler ile karşılaştırılma grafiği	48

SEMBOLLER DİZİNİ

Sembol	Açıklaması
%	Yüzde oranı
°C	Sıcaklık birimi (Santigrat derece)
λ	Latent ısı, J/kg
α	Isıl difüzivite (m^2/s)
$D_{gör}$	Görünür (effektif) difüzivite katsayısı, (m^2/s)
r	radyatif ısı transfer katsayısı $W/m^2 K$
k_c	konvektif ısı transfer katsayısı, $W/m^2 K$
k_m	konvektif nem transfer katsayısı, $W/m^2 K$
CO_2	karbondioksit gazı
A	Alan, m^2
Bi	Biot sayısı
C_p	Özgül ısı, J/kg K
D	Çap, m
m	Kütle, kg
r	yarıçap, m
T	Sıcaklık, K
t	Zaman, s
x	Kalınlık, m
ρ	Yoğunluk, kg/m^3
X	Nem konsantrasyonu, (kg su/ kg kurumadde)
R	Gaz sabiti, J/kg K
P_A	Atmosfer basıncı, Pa
MW	Molekül ağırlık

KISALTMALAR

Kısaltmalar	Bibliografik açıklanması
b.b.	buna benzer
etc. al	ve diğer arkadaşları
v.b.g	ve bunun gibi
g	gram
kg	kilogram
µm	mikrometre
s	saniye
dak	dakika
mm	milimetre
m	metre
ml	mililitre
s.ş.	sınır şart
b.ş.	başlangıç şart

Giriş

Fırın ürünleri günümüzde insanlar tarafından günlük çok talep edilen ürünlerdir. Herkes için ekmek en temel ihtiyaçtır. ‘Ekmek sofraya başı’ atasözü insanoğlu hayatında fırın ürünlerine olan günlük gereksinimden dolayı gelmiştir. Kek ürünleri bu açıdan tercih edilen ürünler arasındadır. Keklere olan talepten dolayı bu ürünün günümüzde çok çeşitli türleri vardır ve onların üretim teknolojileri de tür özelliklere göre gelişmiştir. Kek ürünleri üretme teknolojisi basit görünüyor ama o kadar kolay değildir. Kek ürün üretimi çok çeşitli proseslerden oluşur. Üretim sırasında gerçekleşen bu prosesler son ürünün kalitesini çok etki eder. Gerekli şartları sağlayabilmek ve kaliteli ürün üretmek için kek üretiminde her prosesi iyice açıklayarak bir sistem kurmak gerekmektedir. [1, 2]

Kek İngilizce ‘cake’ sözünden geliyor ve kuru üzüm, reçel veya fındık ile tatlı pasta anlamını vermektedir. Genellikle maya veya bisküvi hamurla pişirilir. Avrupa’da bu ürün çoğunlukta düğünlerde ve Noel kutlamasında yapılmaktadır. Kekler dikdörtgen veya yuvarlak biçimler kullanılarak pişirilir. Yuvarlak kekler merkezindeki bir delikten dolayı ‘halka’ adını taşır. Ruslarda keke benzer aynı ürün var onu ‘Paskalya kek’ diye adlandırıyorlar. Kek ürünün ilk reçetesi Antik Roma’da fındık, kuru üzüm, arpa püresi ile karışık halinde literatürde bulunur. Kek terimi İngilizce ‘kechel’, Latince ‘meyve’, Eski Fransızca ‘Fructus’ kelmelerinin karışımından oluşarak günümüze gelmiştir. 16 yüzyıldan başlayarak şekerin tayı edebilmesiyle birlikte kek üretim teknolojisi değişerek daha gelişmiştir. Günümüzde bu ürün Avrupa’da, ABD’de ve Asya ülkelerinde çeşitli teknoloji ve yöntemlerle üretilmektedir. [1, 2, 3]

Kek un, şeker, yağ, yumurta, aroma maddesi ve hamur kabartma tozu hammaddelerinin karıştırılması ile hazırlanan, yüksek sıcaklıkta fırın ortamında pişirilmesi ile elde edilen, yumuşak, tatlı, dünyada yaygın bir ünlü hamur ürünüdür. Kek hamurunundan iyi bir kek üretmek için uygun hammadde ve optimum pişirme koşulları sağlanması esastır. Hamur, yüksek sıcaklıktaki fırın ortamına girince aktarılan ısı etkisiyle nem kaybetmeye başlar. İç kısımlardaki nem ise yüzeye difüze olmaya başlar. Hamur yüzeyine aktarılan ısı, iletim mekanizmasıyla iç kısımlara ilerler. Yüzey ve soğuk merkez arasında oluşan sıcaklık gradyanı pişirme süresince giderek azalır. Difüze olan, hamur içindeki sıcaklık arttıkça içindeki su molekülleri sıvı fazdan buhar fazına geçmeye başlar. Hamur içinde hamur hazırlanması sırasında hava bulunabilir. Sıcaklık

etkisiyle bu hava yani hava molekülleri bir araya gelmeye başlar. Onların bazıları belli aşamadan sonra patlar, diğerleri ise hamur içindeki gözenekleri oluşturur. Aynı anda CO₂ gazı ortama çıkmaya başlar. İşte bu faktörler hamur içindeki basınç artmağa sebep olur. Hamur içinde oluşan iç basıncı ürün biçimindeki değişimlere neden olur. Kek hamuru özel biçimlere (dikdörtgen, yuvarlak ve bunun gibi geometriler) konulduğu için yoğunlukta yükseklik yönünde değişim daha çoktur. Çünkü kap çeperleri sınırlı olup da yükseklik sınırlı olmadığından dolayı yükseklik daha artar. [1]

Sıcaklık yükseldikçe hamurda bulunan nişasta şişmeye başlar, yaklaşık sıcaklık 70°C' lere ulaştığında jelatinleşme reaksiyonu başlar. Nişasta moleküllerinin şişip jelatinleşmesi yapının sıkılaşip sertleşmesine yol açar. Nişasta jelatinizasyonu fırın ürünlerinde son ürünün kabul edilebilirliğini sağlayan önemli bir kalite indeksidir. Sıcaklık 80°C civarına ulaştığında protein koagülasyonu başlar. Proteinler ısı etkisiyle denatüre olmaya başlar ve sonuçta sertliği kazanır. İşte bundan sonra ürün hacim değişimi artık olmaz çünkü sert dış yüzeyi bu işi durdurur. Üst ve yan yüzeylerde Maillard reaksiyonu ve şekerlerin karamelizasyonu sürmekte, bunun sonucunda ürünün kahverengine dönüşümü görülmektedir. Pişirme işlemi ürün son nemi belli bir denklige kadar devam eder. [1]

Kek pişirmede normal hava fırın sıcaklığına ısıtılarak kullanılmaktadır. Teknolojiye göre ve kek ürünün yapısına bağlı fırın ortamındaki sıcaklık 160-200 °C'e kadar çıkmaktadır. Sıcaklık pişirme süresince sabit tutulmaktadır. Kullanılan fırın özelliğine göre doğal veya zorlanmış konveksiyon, ve aynı anda radyatif ısıtmayı sağlanabilir. Endüstride hamur ürünlerinin pişirilmesinde doğrudan veya dolaylı ısıtmalı; elektrikli ya da gazlı; tek yada çok katlı, bölmeli; tepsi yada tünel tipli; hareketli bantlı ya da sabit raflı, veya döner fırınlar kullanılmaktadır [1]

Uygun fırın seçimi; kaliteli ürün elde etmeğe, pişirme işleminin uygun şartlarda çalışmasına, enerji kullanımının etkili ve onun harcamasının azalmasına etki eder. Çok yüksek sıcaklıklarda kek pişirilmesi ürünün dış yüzeyin karartmağa hatta yanmasına sebep olur, ürün pişirilmesindeki gerçekleşmesi gereken proseslerin yürülmemesine neden olabilir. Aynı anda düşük sıcaklıklarda kek pişirilmesi pişirme süresinin uzun zaman sürmesine, pişirme esnasında gerçekleşmesi gereken proseslerin oluşmamasına

veya yavaş yürütülmesine neden olabilir. Her ikisinde de düşük kaliteli ürün oluşmakta. (Manley, 1996). [1, 13]

İyi bir mühendis veya gıdacı deneme yanılma yoluyla küçük miktardaki bir ürün için uygun pişirme koşullarını belirleyebilir. Ancak endüstriyel boyutta böyle bir yöntem ne kadar enerji, iş gücü ve optimum şartları gerekliliğini belirleyemez. Endüstri üretiminde üretim zaman, enerji ve işgücü kayıplarını en aza indirerek optimum şartlarda çalışmak en önemli hedeftir. Yüksek enerji tüketimi olan fırında pişirme işlemi; yüksek kapasiteli üretim sırasında, hatalı ürün riskine girmeden yapılmalıdır. Bu amacı yapabilmek için bir bilgisayar programı gerekmektedir. Fırın ürünlerinin pişme esnasında gerçekleşen bütün prosesleri öne alarak gerekli haseplamaları yapabilen ve belli bir süre için gerekli değerleri öngörebilme özelliğini bir bilgisayar programı yapabilir. Böyle bir programı yazmadan önce yukarıda belirtilen prosesleri öne alarak matematiksel modelleme yapılmaktadır. Matematiksel Modelleme ürün ile fırın arasında gerçekleşen prosesleri açıklayan, matematiksel kanunlara dayalı bir matematiksel açıklamadır. Kurulan matematiksel denklemler bilgisayarda sayısal olarak çözülür. Bu çalışmada, konvektif fırında halka kek pişirme işleminin, matematiksel açıdan bir eşzamanlı ısı ve kütle transferi işlemi olarak incelenmesi amaçlanmıştır. İşlemin laboratuvar koşullarında deneysel olarak incelenmesi; sıcaklık ve nem profillerinin deneysel olarak belirlenmesi hedeflenmiştir. Deneysel aşamada kek pişirme işlemi ve ürünle ilgili elde edilen veriler kullanılarak işlemi temsil eden matematik modelin kurulması üzerinde çalışılmıştır. Modelin sayısal çözümüyle, pişirme işlemi sırasında ürüne ait sıcaklık ve nem profilleri öngörülmüştür. Farklı işlem koşullarında sayısal çözüm sonuçları karşılaştırılarak modelin duyarlılık analizleri yapılmıştır. Modelin sayısal çözümü ile elde edilen sıcaklık ve nem profilleri deneysel (numerik olarak) verilerle karşılaştırılmıştır. [1, 2, 5, 6]

Bu çalışmanın, endüstriyel ölçeğe aktarıldığında, üretime; tasarım, işlem optimizasyonu ve özellikle işgücü ve enerji tasarrufu açılarından katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

BÖLÜM 1. KEK ÜRETİM TEKNOLOJİSİNDEKİ GENEL ÖZELLİKLER VE MATEMATİKSEL MODELLEME

1.1 Kek ürünü, üretim teknolojisi ve özellikleri

Kek - orta kuvvette % 8-9 proteinli, ince çekilmiş yumuşak buğday ununa; şeker, yağ ve yumurta ilavesi ile hazırlanmış yumuşak hamurdan usulüne göre pişirilmiş hazır gıda maddesidir. Kekler Avrupa’da çok ünlü ve bize de oralardan gelmiş. Avrupa’da bu ürün çoğunlukta düğünlerde ve Noel kutlamasında yapılmaktadır. Günümüzde çok çeşitli (biçimine, içerik maddelerine, reçetesine, üretim teknolojisine göre) kek türleri vardır. Örneğin pişirme biçimlerine göre kekler dikdörtgen veya yuvarlak biçimler kullanılarak pişirilir. Yuvarlak kekler merkezindeki bir delikten dolayı ‘halka’ adını taşır. Bu çalışmada ele alınan ürün de işte bu halka kektir. Yukarıda belirlediğimiz gibi keklerin çok çeşitleri vardır. Onların bazı noktalara göre sınıflandırılmasını ele alalım. [1, 6, 7, 36]

Keklerin Sınıflandırılması

1. Kekler bileşim bakımından;

- Sade kek
- Fındıklı kek
- Kakaolu Kek
- Çikolatalı Kek
- Meyveli Kek v.b. şekilde sınıflandırılır.

2. Ayrıca şekillerine göre;

- Dilim
- Baton
- Top
- Kalıp
- Pastaaltı
- Halka
- Kap
- Bar kek ve b.b. olarak da sınıflandırılabilir.

3. İngrediyentlere göre keklerin sınıflandırılması: Piyasadaki bazı kek ingredientleri

aşağıdaki gibidir [11]

- a) Meyveli Kek: şeker, buğday unu, nişasta, modifiye nişasta, çekirdeksiz kuru

üzüm, meyve karışımı (portakal kabuğu, incir veya ayva), hamur kabartma tozu, kıvam artırıcı (guar gum E412), doğal limon aroması. Bu kek türü çok istenilen kek türlerinin biridir.

b) Kakaolu Kek: şeker, buğday unu, nişasta, kakao tozu, emülgatör (mono ve digliseritlerin laktik asit esterleri, yağ asitlerinin poligliserol esterleri), süt proteini (kazein), kabartıcılar (sodyum pirofosfat, sodyum bikarbonat), yemeklik tuz, doğala özdeş aroma, vanilin, portakal aroması. Çikolatalı kek gibi çok tatlıdır.

c) Limonlu Kek: şeker, buğday unu, nişasta, laktoz, emülgatör (mono ve digliseritlerin laktik asit esterleri, E472, yağ asitlerinin poligliserol esterleri E475), hindistan cevizi rendesi, hamur kabartma tozu, doğal hindistan cevizi aroması, yemeklik tuz . [6, 7, 11]

4. Üretim metoduna göre keklerin sınıflandırılması:

a) Maya ile kabartılmış kekler; Meyveli ekmek, Danish Pastry, Savarin, Sünger kek.

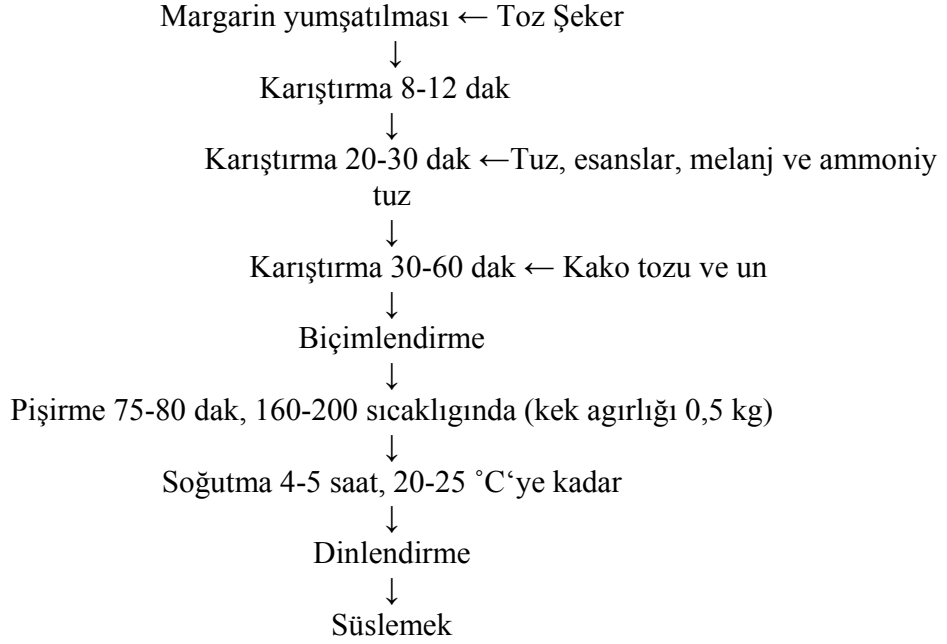
b) Kimyasallarla kabartılmış kekler; Pişirme tozu, karbonat amonyum, aseton ve etanol ile oluşacak gazı artırmak suretiyle, göz oluşumu ısıtma ile veya asit baz reaksiyonu sonucu oluşur.

c) Hava ile kabartılmış kekler; Sünger kek, Paund kek, Chifon kek. [6]

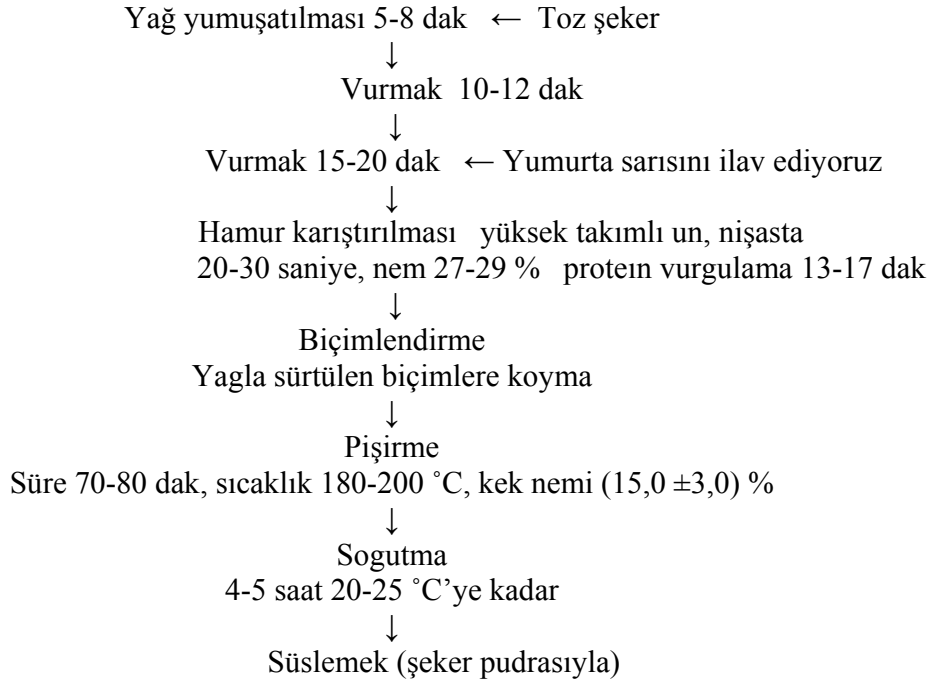
1.1.1 Kek üretim teknolojisi.

Kek ürünlerinin üretim teknolojisi kek türüne göre çeşitli olur. Kek üretiminde aynı kalitenin sağlanması ve yüksek miktarda üretim gereksinimleri, yüksek düzeyde bir teknolojinin kullanımı zorunlu kılmaktadır. Kek üretimi genellikle 5 aşamadan oluşmaktadır. Hammadde bileşenlerinin depolanması ve dozların ayarlanması, kek ingrediyeantlerinin karıştırılması, pişirme alanına gönderilmesi, pişirme, soğutma. Sonra hazır olan kek ürünü depolanmaya gönderilir, gerekirse kekin dış yüzeyi tatlılar ile işlenebilir. Genellikle kek üretim teknolojisinin 3 türü kullanılır. Birinci tür bu kek ingrediyeantlerine gıda kimyasalları ilave edilerek üretilir. İkinci yöntem bu kek ingrediyeantlerine mayalar ilave ederek üretilir. Üçüncü yöntem bu ne mayalar ve kimyasallar eklenmeden kekler üretilir. [1, 11, 11, 14]

a) Keklerin gıda kimyasallar ile üretim teknoloji şeması.



b) Mayasız ve kimyasallarsız kek üretim teknolojisi



1.1.2 Kek üretiminde kullanılan fırınlar

Fırın ürünlerinin üretiminde en önemli basamak fırında pişirme işlemidir. Pişirme işleminde üründe fiziksel, biyokimyasal, kimyasal değişimler gerçekleşerek ürün pişirilir. Son ürünün kalitesi de bu nedenle fırının çalışma özelliklerine çok bağlıdır. Büyük çaplı endüstri üretiminde bu çok önemli noktadır. Çünkü seçilen fırın hem yüksek kaliteli ürün üretmeli hem de az enerji kullanmağı sağlamalıdır. Kek ürünün üretiminde de fırın ürünlerinin üretiminde gibi çeşitli fırınlar kullanılabilir. Günümüzde çok sık sık endüstride kullanılan fırın çeşitleri aşağıdaki tablo 1.1’da verilmiş. [11, 14]

Tablo 1.1 Kek üretiminde kullanılan fırın tipleri

No	Fırın Adı	Açıklama
1	Döner fırın	Fırın ısıtıcıları havayı ısıtıyor, sıcak hava fırındaki fan ile ürüne konveksiyon yoluyla veriliyor. Fırın odasının şekli dikdörtgen veya prizmatik halindedir. Pişirme süresi boyunca fırın döndürülecek.
2	Ocak fırın	Ocak fırın 1, 2, 3 veya 4 katlıdır. Ocak fırın elektromekanik veya elektronik kontrol paneli ile donatılmıştır. Fırın ısıtıcıları fırın odasındaki havayı ısıtarak ürünün pişmesinin sağlar. Aynı anda iletim mekanizması da vardır.
3	Konveksiyon veya raf fırın	Fırın ısıtma elemanları havayı ısıtırken, sistem içindeki fan havayı eşit bir sirkulasyonla çevreye dağıtır.
4	Tünel fırın	Bu tip fırınlar çoğunlukta endüstride kullanılmaktadır. Fırında belli pişme bölgeleri var. Ürün bu bölgeye taşıyıcı ile gelir ve piştikten sonra taşıyıcı ile götürülür. Ürünün pişme süresini belirleyerek taşıyıcı hızı ayarlanır.

Her kek tür ürünü için fırın ortamında pişirme sıcaklığı ve pişirme süresi farklıdır. Büyük endüstri bakımından bu parametreler günümüzde belli olmaktadır ve bu değerler tablo 1.2’de gösterilmiştir. [7, 14]

Tablo 1.2 Bazı keklerin fırında pişirme koşulları (ortam sıcaklığı ve pişme süreleri)

Kek Adı	Fırın ortam sıcaklığı, °C	Süre, dakika
‘Veseny’ 500-1000 g	185...210	60...65
400-600 g	185...210	45...55
‘Stoliçniy’ Kütleli Tane	160...185 205...215	80...100 25...30
‘Moskovskiy’ Kütleli Tane	180...190 180...190	110...120 70...80
‘Limonlu’ Kütleli Tanesi 300g kütle	190...200 190...200	60...70 30...40
Deputatskiy	190...200	55...60
Şafranniy (safran)	190...200	75...90
Mindalniy (badem)	190...200	30...45
Zolotoı Yarlık	180...200	70...90
Osobiy	180...200	70...90
Serebryanniy Yarlık	180...200	70...80
Zdorovye	185...210	45...50
Çaynıy	160...185	80...100
Mayskiy	190...200	50...60

Önceden belirlediğimiz gibi kek biçimleri dikdörtgen ve yuvarlak geometrilerde oluşmaktadır. Kek türüne göre biçimler seçilir. Kullanılan biçimler kek ağırlığına göre belli ölçümlere sahiptir. Aşağıdaki tablo 1.3’te kek ağırlığına göre biçimlerin ölçümleri verilmektedir. Bunlar standart olarak endüstride kullanılır ve endüstri taleplerine göre üretilir. [7, 14, 15]

Tablo 1.3 Kek hamuru için kullanılan biçimlerin ölçümleri

Kek ağırlığı, kg	Biçim ölçümleri, mm
0,090	85x60
0,125	120x65
0,250	140x65
1,20	240x110

1.2 Matematiksel Modelleme

Fırında pişirme işlemi enerji harcaması yüksek bir işlemdir. Dolayısıyla bu işlemin optimum şartlarda yerine getirilerek yüksek kaliteli ürün üretilebilmesi için bilgisayar programları ihtiyaç gerektirir. Fırında kek pişirme işlemi çok karmaşık fiziksel, biyokimyasal ve kimyasal prosesler ile gerçekleşir. Bu prosesleri açıklayan matematiksel model sadece bir yaklaşım ile matematiksel kanunlara dayanarak ısı ve kütle transferi açıklayabilir. [1, 2, 7, 16, 17, 18]

Kek hamurunun fırında pişirme işlemi sırasında karşılaştığı ısı transfer mekanizmaları; ürün yüzeylerine fırın ortamından konvektif, sıcak fırın yüzeylerinden radyatif, ürünün temas ettiği kaplardan ve metal yüzeylerden iletimle ısı transferidir. Yüzeylerden aktarılan ısı ürün soğuk merkezine doğru difüzyonla ilerler. Ürün neminin bir kısmı aktarılan ısı etkisiyle buhar fazına geçer. [1]

Isı transferiyle eşzamanlı olarak üründen fırın ortamına kütle (nem) transferi gerçekleşir. Öncelikle fırın odasındaki ürüne aktarılan ısı ürünlerdeki nemin (önce dış yüzeyindeki) bir parçasının buhar fazına geçip buharlaşmasına neden olur. Buharlaşan nem fırın ortamına geçer. Aynı anda merkez etrafındaki nem dış yüzeye yakın etraflara difüzlenmeye başlar. Dengeye ulaşınca kadar bu işlem devam eder. Kek pişirilmesinde sıvı ile buhar fazların varlığını öne alarak nem difüzyonu belirlemek için görünür nem difüzivitesi $D_{gör}$ (m^2/s) terimi alınmıştır. Bu değer ortamdaki sıcaklıktan ve ürün içerisindeki nem konsantrasyonundan etkilenir. [1, 7, 13, 15]

İşlem sırasında gerçekleşen gaz çıkışı reaksiyonları etkisiyle görülen hacim artışı, diğer reaksiyonlarla birlikte yoğunluğun azalmasına ve gözenekliliğin artmasına sebep olur. Bu durum ısıнын ürün içinde difüzlenme hızını doğrudan etkiler. Yoğunluğun ve gözenekliliğin ölçülmesindeki güçlük sebebiyle ısı difüzivite değeri ürün nem içeriğine bağlı tanımlanmış, işlem sırasında nem içeriği azaldıkça, dolayısıyla gözeneklilik arttıkça ısı difüzivitenin arttığı deneysel olarak belirlenmiştir. [1, 3, 7]

Pişirme sırasında kek ürününde dış kabuk oluştuğunu ve kek biçim ile temas ettiği yan taraflarda da kabuk oluştuğunu söyleyebiliriz. Bu kabuğun oluşumu ürünün içerisindeki nem transferine ve sıcaklık dağılımına etki göstereceğini öne almamız gerekir. Oluşan kabuki bu açıdan önemli faktördür. [1, 14, 15]

1.3 Önceki çalışmalar

Fırında pişirme işlemi endüstride sık kullanılan ve çeşitli ürün üretiminde bulunan işlemdir. Bu proses süresince aynı anda fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal değişimler araya gelir. Bizim işimizde de fırın koşulları göze alınarak modelimiz çalışmaktadır. Demek ki bu iş sonucunda fırın tasarımı, enerji tüketiminin azalması gibi konular üzerinde duruyoruz. [1, 14, 15,16]

Matematiksel modelleme, fırında pişirme işlemini, işlem sırasında ürün ve fırın ortamı arasındaki etkileşimi ve üründe meydana gelen değişimleri sayısal olarak tanımlayabilme olanağı sağlayarak işlem tasarımı ve optimizasyonunda dayanak noktası olur. Fırında pişirme, matematiksel açıdan, genellikle bir eşzamanlı ısı ve kütle transferi işlemi olarak modellenir. Fırın ortamından ürün yüzeyine konvektif, radyatif ve metal yüzeylerden temasla ısı iletimi, bunu izleyen iç yapıda ısı difüzyonu, ısı iletimiyle eşzamanlı olarak görülen iç yapıda nemin (sıvı veya buhar fazında) difüzyonu, suyun buharlaşması ve yüzeyde konvektif kütle transferi ile nemin uzaklaşması, hamurdan son ürüne giden yoldabelli başlı ısı ve kütle transfer mekanizmalarıdır. [1, 17]

Son yıllarda bu konuda dünyada fırında pişirme işlemi üzerine deneysel çalışmalar ile matematiksel modelleme çalışmaları artmıştır ve çeşitli fırın ürünleri için modeller elde edilmeye başlamıştır. Büyük çaplı endüstri üretiminde bu modelleme çok avantaj sağlayabilmektedir. [1]

Fırında pişirme işlemini temsil eden matematik modeller, deneysel aşamanın getirdiği deneme yanılma çalışmalarının güçlüğü ile işgücü ve enerji kayıplarını ortadan kaldırmaları, ön tasarım, optimizasyon ve işlem kontrolünde hızlı ve pratik birer araç olmaları açılarından önemli ve faydalıdır. [1, 18, 19]

Ekmek pişirme işlemi bu alanda daha çok ilgi toplayan konu olmuştur. Yüksek kapasiteli endüstriyel uygulamalarda ekmek üretiminin son 20-30 yılda vardığı bilgisayar kontrollü modern sistemlerle tam otomatik üretim koşulları bisküvi ve kek üzerine yapılacak çalışmaları çekici kılmaktadır. Literatürde bize belli olan bu konuda yer alan çalışmaların bazılarını kısaca durmak istiyorum. [1,17]

Zanoni ve arkadaşları ekmek pişirme ve matematiksel modellemesi üzerine yaptıkları kapsamlı çalışmalarında, öncelikle pişirme sırasında ekmek örneğinin sıcaklık, nem ve hacim değişimini belirlemiştir. Onlar yaptıkları deneylerde ekmek pişirilmesi

zamanında ekmekte (ekmek içerisinde buharlaşma bölgesi oluşuyor 100 °C’de) buharlaşmadan dolayı bir kuru kabuk ve yüksek nemli, yumuşak iç kısım oluştuğunu bahsettiler. Kurdukları matematik model, silindirik ekmek örneğinin pişirilmesi sırasındaki ısı ve kütle transferini tanımlamaktadır. Modeli sonlu farklar yöntemiyle sayısal olarak çözerek sıcaklık, nem, hacim değişikliğin belirlemişler. Alınan sonuçların deneysel sonuçları doğruladığı bildirilmiştir. [1, 17, 18, 19]

Li and Walker geleneksel fırın yanında, hava üflemeli ve mikrodalga fırında kek pişirme konusunda çalışmış, hacim artışı, kabuki rengi ve ürün yapısı bakımlarından fırınları karşılaştırmıştır. Çalışmada, ısı transfer hızları ve pişme süreleri belirlenmiştir. [1, 2]

Lostie ve arkadaşları kek pişirme işlemini sıcaklık, nem profilleri ve hacim değişimi açılarından deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada kek pişirme işlemi için, “ısınma” ve “kabuk-iç oluşumu” olmak üzere 2 periyod tanımlanmaktadır. Isınma periyodunda, iç kısımdan yüzeye nem difüzyonu ve yüzeyden iç kısma ısı iletimi, yüzeyde buharlaşma ve yoğunlaşma belirtilmiştir. Oluşan kuru kabuğun ısı ve kütle transferine direnç oluşturduğu 2. periyotta, kabuktan geçen ısının iç kısımlara iletimle transfer olduğu ve su buharının yüzeyden konveksiyon ile ayrıldığı belirtilmiştir. Isınma periyodu için tek boyutlu ısı ve kütle transferi modeli geliştirilmiştir. İşlemin yorumlanmasını ve modellenmesini basitleştirmek üzere, pişirme koşullarında modifikasyon ile ürüne ısının sadece üst yüzeyden gelmesi sağlanmıştır. Alt ve yan yüzeylerin izolasyonu ile sağlanan bu modifikasyon, aynı fırın koşullarında benzer bir endüstriyel uygulamaya göre fırında pişirme süresini 3-10 katına çıkartmıştır. Kurulan modelin belirtilen koşullardaki deneysel sonuçlarla uyum gösterdiği belirtilmiştir. [1]

Lostie, Peczalski and Andrieu “kabuk-iç oluşumu” periyodunda kekin iç yapısını akışkan sıkıştırılabilen bir karışım, kabuğunu ise gözenekli bir zırh olarak tanımlamıştır. İç yapıda ve kabuk bölgesinde pişirme sırasında sıcaklık profilleri ve kekin toplam kalınlığı modelin çözümü ile hesaplanmıştır. Modelin sayısal çözümü ile deneysel eğrilerin uydurulmasıyla kekin bazı ısısal ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Fırında pişirme işlemi sırasında ürünün ısı ve nem transfer özelliklerinin hassas bir şekilde tahmini, işlemin matematiksel olarak modellenmesinde oldukça önem taşır. Isı transfer özellikleri (ısı iletkenlik katsayısı, özgül ısı, ısı difüzivite)’nin

belirlenmesine yönelik yöntemler Rask tarafından derlenmiştir. Buğday unu ekmeği, kek ve bisküvinin ısısal ve fiziksel özellikleri, nem desorpsiyon izotermi, özgül ısı, ısı iletkenlik katsayısı değerleri sıcaklık ve nem içeriğinin bir fonksiyonu olarak Christenson, Tong and Lund tarafından deneysel bir çalışmayla belirlenmiştir. Baik, Sablani, Marcotte and Castaigne kekin özgül ısı, ısı iletkenlik katsayısı ve ısı difüzivite değerini nem içeriği, yoğunluk ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak belirlemiştir. [1, 15, 16]

Zanoni, Peri and Gianotti ekmeğin ısı difüzivite değerinin belirlenmesi konusunda deneysel bir çalışmada bulunmuşlardır. Ekmeğin ısıtılması sırasında kaydedilen deneysel sıcaklık profili, ısıtma işlemini temsil eden model tarafından hesaplanan sıcaklık profili ile karşılaştırılmış ve aradaki farkı minimum eden ısı difüzivite değeri hesaplanmıştır. Ekmeğin ısı difüzivite değerinin artan gözeneklilik ile arttığı belirtilmiştir. Gözenek artışıyla ısı transfer hızının artışı yoğunluktaki azalmaya bağlanmıştır. Nem transfer özelliklerinden nem difüzivitesi, fırında pişirme işleminde ürün yapısında nem difüzyonunu kontrol eden özelliktir. Nişasta ve protein içeren gıda maddelerinin karmaşık yapısı ve bu bileşenlerin yapıdaki su ile etkileşimleri sebebiyle nem içeriği nem difüzyon hızını etkileyen bir faktördür. Bunun yanında, ortam sıcaklığındaki artış da konvektif işlemlerde nem transfer hızını iyileştirmektedir. Nem difüzivitesinin bağlı olduğu faktörlere göre değişiminin deneysel olarak belirlenmesi mümkündür. Literatürde, çeşitli prosesler sırasında kaydedilen konsantrasyon-zaman verilerinden, gıda maddelerinin görünür nem difüzivitesinin hesaplanması üzerine çalışmalara sıklıkla rastlanmaktadır. Turhan and Özilgen bisküvinin kuruma davranışını inceledikleri çalışmalarında, sonsuz levha kabul ettikleri bisküvi hamurunun ortalama nem içeriğinin pişirme sırasında zamanla değişimi verilerinden nem difüzivitesini hesaplamışlardır. Hesaplamada Fick'in 2. kanunu eşitliğinin, tek yönlü kütle transferi için analitik çözümü yapılmıştır. [1, 16, 17, 18, 19, 20]

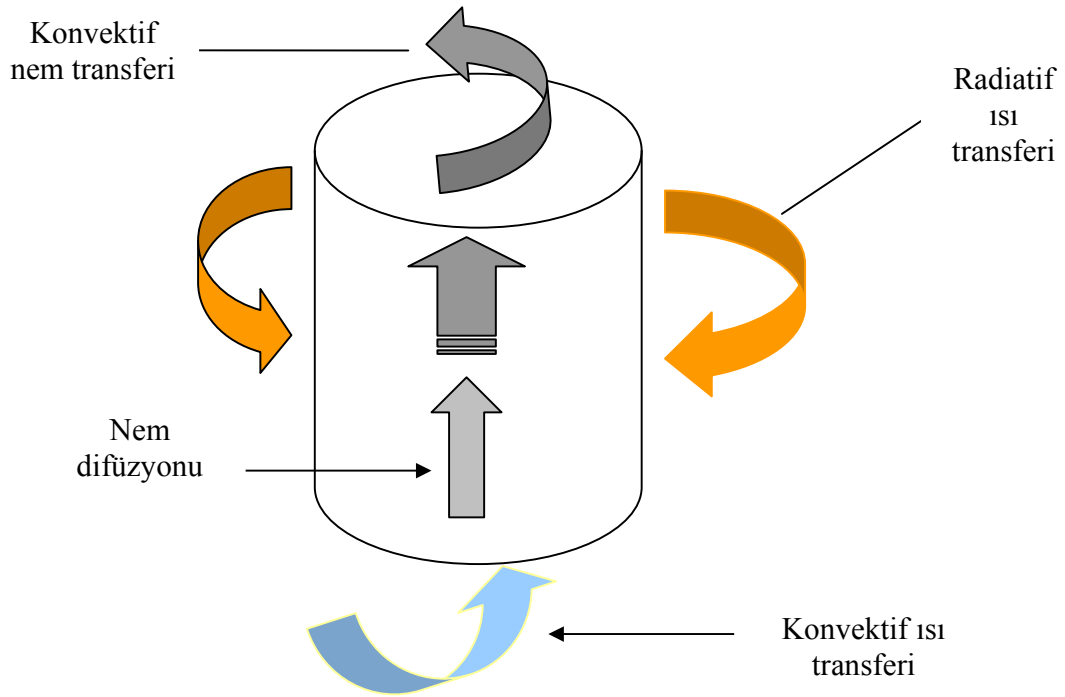
Baik and Marcotte kek pişirme sırasında nem difüzivitesinin belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Sonsuz levha geometrisinde ince tabaka kek örneğin kurutulması sırasında, sıcaklık gradyanının nem transferine etkisi ile nem transferine dış ortam direnci ihmal edilmiştir. Kek örneğinin ağırlık değişimi-zaman verilerinden, hacim artışını da dikkate alarak **Fick'in 2. kanunu eşitliğinin analitik çözümüyle** nem difüzivitesi

hesaplanmıştır. Bu terimi porozite, sıcaklık ve ürün nem içeriğinin fonksiyonu olarak ifade eden empirik modeller geliştirilmiştir. Fırında pişirme işleminde yüzey ısı transfer katsayısının belirlenmesi üzerine de deneysel çalışmalar mevcuttur. Yüzey ısı transfer katsayısı genellikle, ısı transferine iç direncin dış direnç yanında ihmal edilir olduğu koşullarda ($Biot < 0.1$) cismin kararsız halde ısıtılması sırasında kaydedilen sıcaklık profilinin, analitik yöntemlerle analizi ile hesaplanır. Bu yöntemin yanında, Carson, Willix and North, fanlı konvektif fırınlarda ısı akısı sensörü kullanarak ve ıslak yüzeyde kuruma sırasında kütle kaybı hızından ısı transfer katsayısının hesaplanmasını göstermiştir. Fırın sıcaklığının bu değere etkisi olduğu belirtilmiştir. [1, 2, 6, 24]

1.4 Isı ve kütle transferi Matematiksel Modeli

Kek pişirilmesindeki ısı ve kütle transfer mekanizmasını açıklayan matematik model şekil 1.1’de görülmektedir. Isı ve kütle transferi sonsuz silindir için z yönünde yürümekte.

Şekil 1.1 Sonsuz silindir için z yönünde eşzamanlı ısı ve kütle transferi



1.4.1. Isı transfer matematik modeli

İletimle geçen ısı enerjisini ilk ifade eden **J. B. Fourier** Fransız bilim adamı tarafından 1822’de ilk olarak bulunduğu için bu ifadeye **Fourier ısı iletim kanunu** denir. Isı transfer matematik modeli Fourier denklemine dayanıklı elde etmiştik. Bu denklem katı cisimlerdeki kararsız ısı iletimi tanımlıyor. Sabit fiziksel özellikler, tek yönlü ısı iletimi aşağıdaki gibi yazabiliriz. [1, 2, 26]

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

Burada, T, sıcaklık (°C); t, zaman (s); z, pozisyon (m); α , ısı difüzivite (m^2/s)’dir. Eger biz kek pişirilmesindeki kütle transferini de öne alarak genel formülü yazarsak, o zaman genel Fourier denklemine (1) kütle transferini açıklayan terim ekliyoruz.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{\lambda}{C_p} \cdot \frac{\partial X}{\partial t} \quad (2)$$

Burada, C_p , özgül ısı (J/kg K); λ , suyun buharlaşma entalpisi (J/kg); X, ürün içerisindeki nem konsantrasyonu (kg su/ kg kurumadde)’dir. Başlangıçta tüm pozisyonlar boyunca sıcaklık eşittir. Yani $t = 0$ iken $T = T_{ilk}$ bütün noktalarda. Pişirme işlemi başlayınca sıcaklık gittikçe değişmeye başlar. Bu sıcaklık değerlerinin bulmak için sınır koşulların için denklem (2)’i çözüyoruz. [1, 2, 24, 26]

1.4.2 Kütle transferi matematik modeli

Kütle yayılımı (transferi) için bu bakımdan uygun denklem, Fick denklemi olarak bilinir. Fick’in 2. kanuna göre derişim ve akı, hem zaman hem de mesafeye bağlıdır. Kısaca derişim ve akı zamanın ve mesafenin fonksiyonudur. Fick’in 2. kanunu olarak bilinen eşitlik şöyle yazılır. [1, 24, 26]

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{gor} \cdot \frac{\partial^2 X}{\partial z^2} \quad (3)$$

Burada, X, ürün içerisindeki nem konsantrasyonu (kg su/ kg kurumadde); t, zaman (s) ; D_{gor} , görünür difüzivite (m^2/s); z, pozisyon (m)’dir. Pişirme işleminin başlangıç şartlarında ürün içerisindeki nem konsantrasyon bütün pozisyonlarda (üst yüzey, alt yüzey v.d.) aynıdır yani dağılım söz konusu değildir. Pişirme işlemi başlayınca

ürün içerisindeki nem pozisyonlara göre değişmektedir. İşte bu durumda sınır koşullarını belirleyerek yukarıdaki denklemi (3) bu koşullar için çözüyoruz. [1, 2]

1.5 İki boyutlu eşzamanlı ısı ve kütle transferi Matematiksel Modeli

İki boyutlu eşzamanlı ısı ve kütle transferi matematik modeli sonsuz silindir geometrisi için aynı anda r ve z yönünde gerçekleşen ısı ve kütle transferi açıklayacak. Isı transfer için ve kütle transferi için tek tek iki yönlü denklemler başlangıç, sınır koşullarını öne alınarak çözülecek. İki boyutlu eşzamanlı ısı ve kütle transfer mekanizması aşağıdaki şekil 1.2' de gösterilmektedir. [1, 2, 3, 4]

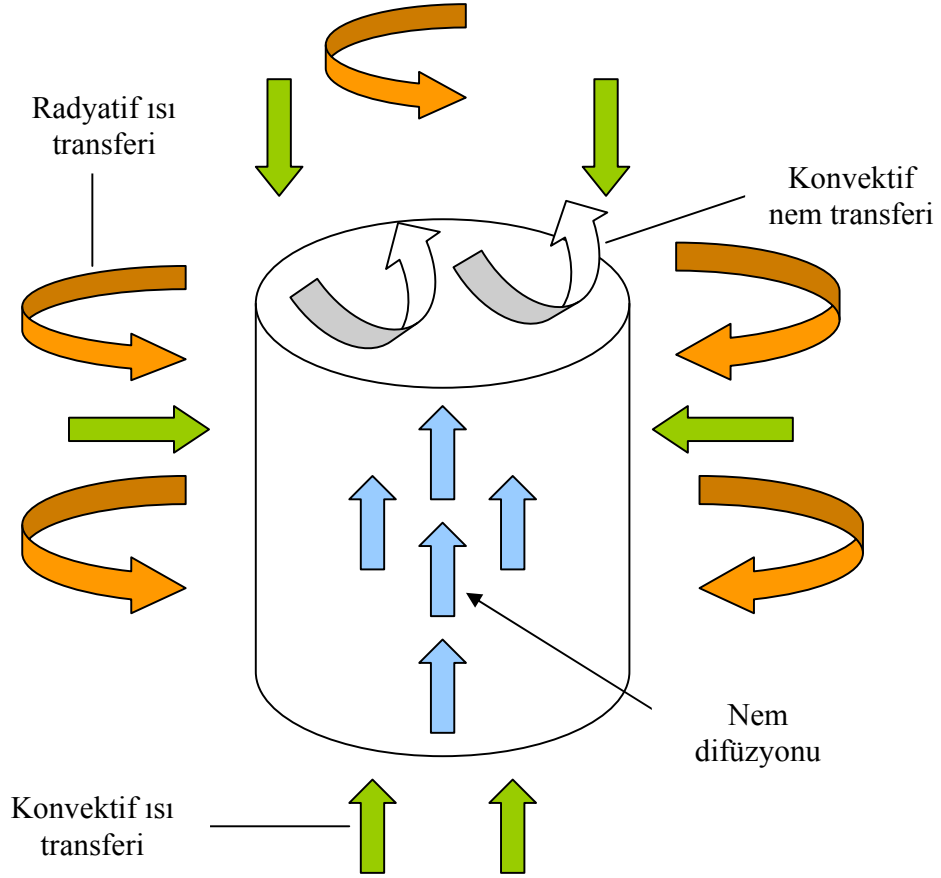
1.5.1 Isı transfer matematik modeli

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

1.5.2 Kütle transfer matematik modeli

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{gor} \cdot \left(\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial X}{\partial r} + \frac{\partial^2 X}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 X}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

Şekil 1.2 Sonsuz silindir için iki boyutlu eşzamanlı ısı ve kütle transferi



2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

Kek pişirme reçetesi kek türüne göre çeşitli olur. Çoğunlukta reçeteye yumurta, margarin, şeker veya onun değiştiricileri, un, su katılır. Hazırlanan kek hamuru özel biçimlere (dikdörtgen veya yuvarlak, ortası boş yuvarlak) koyulur ve fırında pişirilir. İyi bir kalitedeki kek hamuru elde etmek için hamuru iyi karıştırmak ve pişirme alanına göndermeden önce dinlendirmek gerekir. [29, 30]

Bitirme tez için Dr. Melike Sakin tarafından deneysel işlemlerden elde edilen sonuçları biz Fortran bilgisayar dilinde elde ettiğimiz program sonuçları ile karşılaştırmak için kullanıyoruz. Dr. Melike Sakin tüm kek pişirme denemelerinde aşağıdaki formülasyonu kullanmıştır. [29]

100 g hazır kek un (un, şeker, mısır nişastası, hamur kabartma tozu)

32.9 g margarin

50 g yumurta (26.7 % kurumadde)

19.7 ml su

Toplam kütle oranı hesaplırsak hazır kek un % 49.4, % 16.2 margarin, yumurta ve su % 9.7'den dir.

Şekil 2.1 Halka kek ve halka kek için alüminyum kek kalıbı



Kek pişme süresince çeşitli parametreleri belirlemek için ölçmeler yapılır. Genellikle bu pozisyonlar boyunca sıcaklık ölçümü, ağırlık değişimleri belirlemek için nem ölçümü yapılır. Bitirme tez aşamasında deneysel işlemler yapılmadığına rağmen halka kek pişmesinde deneysel yapılacak işlemler hakkında genel bilgiler alınmıştır. Sıcaklık profilleri ölçmede hamur için hazırlanmış biçimlere (şekil 2.1 ve şekil 2.2'de

verilmiştir) ‘termocouple’ sıcaklık ölçüm sensörleri değişik noktalara koyulur veya yapıştırılır. İşte bu sensörler gerekli zaman aralıklarında kek hamur pişme süresince değişik noktalara, tabanlara göre bize sıcaklık değerleri vermektedir. Sensörler Data Okuyucu ile bağlantıda oluşur. Sensörler veren değerler data okuyucuda okunur ve böylece sıcaklık profilleri elde edilir. Sıcaklık profillerinin ölçümü şekil 2.2’ de veriliyor. [1]

Şekil 2.2 Sıcaklık profillerinin ölçümü



Ürünün nem veya kütle kaybı belli zaman aralıklarına göre ölçünür. Kek hamuru fırına koyulduktan sonra belli zaman aralıkları boyunca fırından alınır ve kek hamurun ağırlığı ölçünür. Tekrar ölçüm yapmak için yeni kek hamuru fırına koyulur ve ölçüm yapılır. Böylece başlangıç ağırlığına göre kek işmesindeki kütle kaybı tayin edilir.

NOT: Ölçülen hamur tekrar fırına koyulmaz ve tekrar kütle ölçümüne kullanılmaz.

2.2 Yöntem

2.2.1 Matematik modelin çözümü

Fırında kek pişirme işlemi sonlu silindir geometrisi için iki boyutlu eşzamanlı ısı ve kütle transferini simüle eden bir matematik modeli elde edilmiştir. Model elde etme aşamasında kek pişirme zamanında gerçekleşen bütün prosesler dikkate alınarak yapılmıştır.

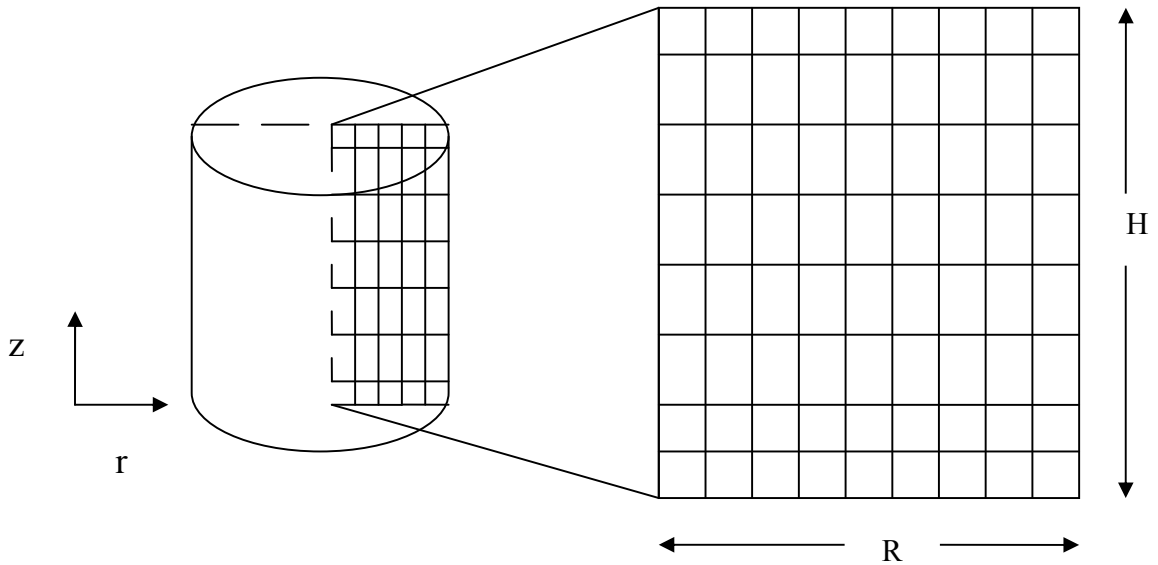
İşlem sırasında gerçekleşen eşzamanlı ısı ve kütle transferini tanımlayan Fourier ve Fick denklemlerindeki kısmi türevler sonlu farklar haline getirilmiştir. Kısmi türevlerin eksplisit sonlu farklar yöntemiyle açılımı, çözümde stabilite sağlanması için

zaman ve pozisyon dilimleri seçimine kısıtlama getirdiğinden sonsuz silindir geometride implisit sonlu farklar yöntemi uygulanmıştır. [1, 2, 4, 26, 27]

2.2.2 İki boyutlu matematik modelin sayısal çözümü

Sonlu silindir yüksekliğiyle çapı karşılaştırılabilir uzunlukta oldukları bir geometridir. Sonsuz silindir geometrisinde kek hamuru z doğrultusunda Δz yüksekliğinde M tabakaya, r doğrultusunda Δr kalınlığında N halkasal bölgeye ayrıldığında oluşan kafes sistemi Şekil 4’de gösterilmiştir. Bu sistemde r yönü i , z yönü j ile gösterilmiş, $(1, j)$ kek ürünün dış yüzeyini, $(NP1, j)$ kek ürünün merkez eksenini, $(i, 1)$ kek ürünün alt yüzeyini, $(i, MP1)$ kek ürünün üst yüzeyini temsil etmektedir. Bundan başka $(1, 1)$ kek ürünün alt yüzey ile üst yüzeyin arasındaki dış yüzeyi göstermektedir. Böyle aralıkları tayin eden diğer noktalar her taraf için oluşmaktadır. [1,2, 3, 4]

Şekil 2.3 Sonsuz silindir kafes sistemi



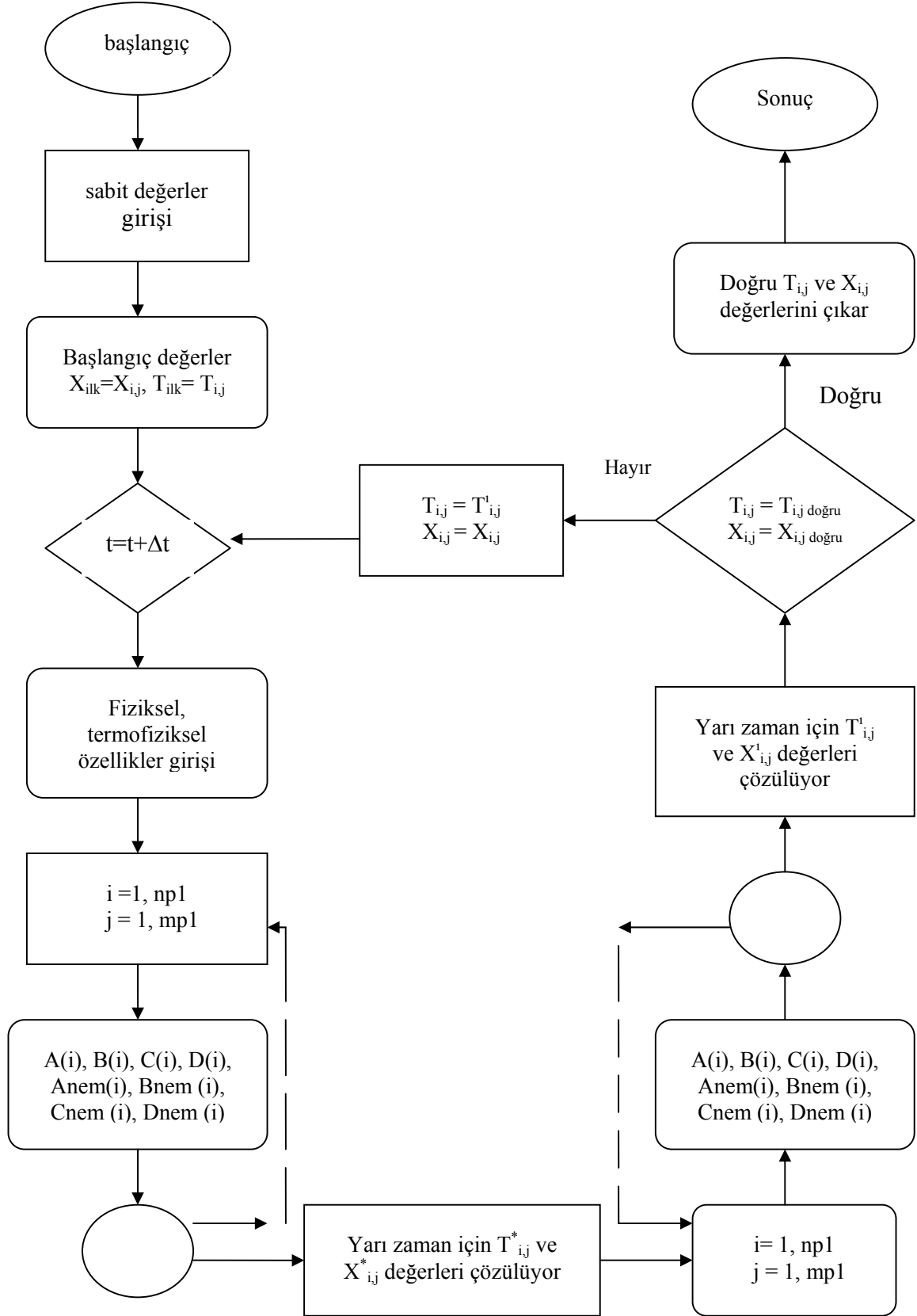
İki boyutlu eşzamanlı ısı ve kütle transferinin açıklayan Fourier ve Fick denklemlerindeki kısmi türevler başlangıç ve sınır koşulları dikkate alınarak İmplicit Alternating Direction yöntemiyle sonlu farklar haline getirilmiştir. Sonlu farklar metoduyla oluşan tridiagonal matris sistemi Bilgisayar programı Gauss Eliminasyon Yöntemiyle çözülmüştür. Sonlu farklar yöntemi Ek 4’te açıklaması ile verilmiştir. İşte bu metodlarla biz sonsuz silindir için $i = 1$ ’den $NP1$ ’e, $j = 1$ ’den $MP1$ ’e kadar her noktadaki

sıcaklık değerlerin $T_{i,j}$ ve nem konsantrsyon değerlerin $X_{i,j}$ elde edebiliyoruz. Tridiagonal matris sisteminde, katsayılar ve bilinenler vektörü elamanları, ısı transfer için $A(i,j)$, $B(i,j)$, $C(i,j)$, $D(i,j)$, ve kütle transferi için $A_{nem}(i,j)$, $B_{nem}(i,j)$, $C_{nem}(i,j)$, $D_{nem}(i,j)$ şeklinde tanımlanır ve yazılır. Bilgisayar programında bu katsayılar sonsuz silindir sistemindeki her nokta için ayrı ayrı hesaplanır ve kullanılır. Z ve r yönlerinde denklemleri basitleştirmek, formülleri kolaylaştırmak amacıyla gamma ve gammanem terimleri çıkartıyoruz. Bu terimler bilgisayar programında hem ısı hem de kütle transferi için de kullanılmaktadır. [1, 2, 3, 4]

$$\gamma_r = \frac{\alpha \cdot \Delta t}{\Delta r^2 \cdot 2}, \quad \gamma_z = \frac{\alpha \cdot \Delta t}{\Delta z^2 \cdot 2}, \quad \gamma_{z_{nem}} = \frac{D_{gor} \cdot \Delta t}{\Delta z^2 \cdot 2}, \quad \gamma_{r_{nem}} = \frac{D_{gor} \cdot \Delta t}{\Delta r^2 \cdot 2} \quad (6)$$

Halka kek pişirilmesinin eşzamanlı ısı ve kütle transferi açıklayan Fortran dilinde yazılan bilgisayar programı Ek 5'te verilmiştir. Bu bilgisayar programı gerekli değerleri kullanarak belli bir şemada çalışıyor. Bu şema Şekil 2.4'te verilmektedir.

Şekil 2.4 Halka kek pişirilmesinin ısı ve kütle transferin sayısal çözüm programın çalışma şeması. [1]



Bilgisayar programı ile Fortran dilinde hazırladığımız bu programın doğru çalıştığını ve doğru sonuçları verebildiğini, halka kek için uygulayabilmamız için önce ısı ve kütle transfer kontrolleri yapılmıştır. 4 kontrol programı 1) **chtiw**, 2) **chtic**, 3) **cmtiw**, 4) **cmtic** elde edilmiştir. Her programdan elde edilen sonuçlar analitik olarak çözülen sonuçlarla karşılaştırarak doğrulanmıştır. Aynı işlem halka kek için elde edilen programda da sağlandı yani halka kek için hazırlanan programımız veren sonuçlar ile analitik olarak çözülen sonuçlarla karşılaştırıldı. [2, 3, 4]

2.2.3 Sayısal çözümün analitik çözümle doğrulanması

Yukarıda belirlediğimiz sayısal ve analitik çözüm kontrolü yapılırken ısı ve kütle transferi için tek tek kontrol programları elde edilmiş. Programlarda kek pişirilmesi anındaki değişmeler sabit alınarak varsayımlar kabul edilmiş.

- kek ürünündeki fiziksel özellikler sabit tutulmuştur.
- sonsuz levha ve sonsuz silindir için sıcaklık profil kontrolü yapılırken ürünün kalınlığı değişmediği kabul edilmiştir.
- Sonsuz silindir ve sonsuz levha geometrileri için nem profili kontrolü yapılırken ürünün her tarafında sıcaklık aynı diye kabul edilmiştir.
- Bütün kontrol yapılırken ısı ve kütle transferleri birbirinden ayrı incelenerek çözülmüştür.

2.2.3.1 Isı transfer kontrolü

Halka kek için elde edeceğimiz Fortran dilindeki programı ısı ve kütle transfer açısından kontrol yaparak elde etmek bizim birden bir amacımızdır. Çünkü bu kontrol işlemlerden geçen, doğru sonuç gösteren programı biz Halka kek kek türü için modifiye ederek uygulayabiliriz. Bu açıdan sonsuz levha ve sonsuz silindir için tek tek ısı ve kütle transfer kontrolleri yapılmıştır. Önce sonsuz levha için **chtiw** (control of heat transfer an infinite wall) ve sonsuz silindir için **chtic** (control of heat transfer for an infinite cylinder) kodlu ısı transfer kontrol programları elde edilmiştir. Tek ısı transfer kontrolünü yapmak için başlangıçtan kütle transferinin ihmal ederek çalıştık. Isı transferi (ısı iletimi) açıklayan Fourier denkleminin sınır koşullarda analitik olarak çözümü **Ek 1**'de verilmiştir. Her iki geometri için yapılan (sonsuz levha ve sonsuz silindir için) çözümde

ortam sıcaklığı, ürünün başlangıç sıcaklığı, fiziksel ve termofiziksel özellikler, ısı transfer katsayılar değerleri ortak olarak kullanılmıştır. [1, 2, 4, 24, 26]

2.2.3.1.1 Sonsuz levha için ısı transfer kontrolü

Sosuz levha için uyguladığımız bu kontrol elde edeceğimiz bilgisayar programın daha geniş alanda çalışabildiğini sağlamaktadır. Sonsuz levha geometrisi bu sonsuz duvar şeklindeki bütün geometrileri içermektedir. Belirlediğimiz gibi bazı kekler dikdörtgen kalıplarına koyulduktan sonsuz levha biçimine benzer. Bizim kontrol bilgisayar programda sonsuz levha için boyut parametrelerini yarıçap $R = 1.05$ m ve yüksekliği $H = 0.012$ m kabul ederek, ürün kalınlığının değişmediğini varsaydık. Bu değişiklikleri programa ekleyerek çalıştırdığımızda Tablo 2.1'deki sayısal (numerik) sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 2.1 Sonsuz levha için **chtiw** (control of heat transfer for an infinite wall) kontrol programının verdiği sonuçlar

Zaman, s	60	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2460
Sıcaklık, °C	30,94	52,40	75,70	94,10	108,62	120,08	129,12	136,24	142,79

Elde edilen bu sonuçları deneysel sonuçlar ile karşılaştırabilmek için problemin analitik çözülmesi gerekir. Bunun için biz aşağıdaki denklemleri kullanıyoruz. Önce Bi sayısı biz belli olan termofiziksel özellikleri kullanarak aşağıdaki denklemle hesaplanmıştır. [1, 10]

$$Bi = \frac{h_c \cdot (H/2)}{k} \quad (7)$$

Burada, $H/2$ ürünün yarı kalınlığı (m), k ısı iletim katsayısı ($\text{W/m}^2 \text{ K}$), h_c ısı taşınım katsayısı ($\text{W/m}^2 \text{ K}$)'dir. Hasaplamalardan bulunan Bi sayısına, geometriye göre Tablo 2.2'den sonraki hesaplamalarımıza gerekli λ_1 , A_1 katsayıları okunmuştur ve kullanılmıştır. [1, 6, 49]

Tablo 2.2 Levha, silindir ve küre geometrileri için katsayılar [12]

	Levha (Plane wall)		Silindir (Cylinder)		Küre (sphere)	
Bi	λ_1	A_1	λ_1	A_1	λ_1	A_1
0.01	0.0998	1.0017	0.1412	1.0025	0.1730	1.0030
0.04	0.1987	1.0066	0.2814	1.0099	0.3450	1.0120
0.1	0.3111	1.0161	0.4417	1.0246	0.5423	1.0298
0.2	0.4328	1.0161	0.6170	1.0483	0.7593	1.0592
0.3	0.5218	1.0311	0.7465	1.0712	0.9208	1.0880
0.4	0.5932	1.0450	0.8516	1.0931	1.0528	1.1164
0.5	0.6533	1.0701	0.9408	1.1143	1.1656	1.1441
0.6	0.7051	1.0814	1.0184	1.1345	1.2644	1.1713
0.7	0.7506	1.0918	1.0873	1.1539	1.3525	1.1978
0.8	0.7910	1.1016	1.1490	1.1724	1.4320	1.2236
0.9	0.8274	1.1107	1.2048	1.1902	1.5044	1.2488
1.0	0.8603	1.1191	1.2558	1.2071	1.5708	1.2732
2.0	1.0769	1.1785	1.5995	1.3384	2.0288	1.4793
3.0	1.1925	1.2102	1.7887	1.4191	2.2889	1.6227
4.0	1.2646	1.2287	1.9081	1.4698	2.4556	1.7202
5.0	1.3138	1.2403	1.9898	1.5029	2.5704	1.7870
6.0	1.3496	1.2479	2.0490	1.5253	2.6537	1.8338
7.0	1.3766	1.2532	2.0937	1.5411	2.7165	1.8673
8.0	1.3978	1.2570	2.1286	1.5526	2.7654	1.8920
9.0	1.4149	1.2598	2.1566	1.5611	2.8044	1.9106
10.0	1.4289	1.2620	2.1795	1.5677	2.8363	1.9249
20.0	1.4961	1.2699	2.2880	1.5919	2.9857	1.9781
30.0	1.5202	1.2717	2.3261	1.5973	3.0372	1.9898
40.0	1.5325	1.2723	2.3455	1.5993	3.0632	1.9942
50.0	1.5400	1.2727	2.3572	1.6002	3.0788	1.9962
100.0	1.5552	1.2731	2.3809	1.6015	3.1102	1.9990
∞	1.5708	1.2732	2.4048	1.6021	3.1416	2.000

Bazı terimleri birleştirerek kısaltmaları aşağıdaki formül ile yapıyoruz.

$$\tau_z = \frac{\alpha \cdot t}{(H/2)^2} \quad (8)$$

Burada α , ısı difüzivite katsayısı (m^2/s); t , zaman (s); $H/2$ ürünün yarı kalınlığı (m)'dir. Bu terimleri kullanarak denklem 10'u çözüyoruz. Bulunan Y değerinin kullanarak bize gerekli sıcaklık profile denklem 11'den hesaplıyoruz. Sonsuz levha için analitik çözüm işlemi Ek 1'de açıklanmıştır.

$$Y = A_1 \cdot e^{-\tau_z \cdot \lambda^2} \quad (9)$$

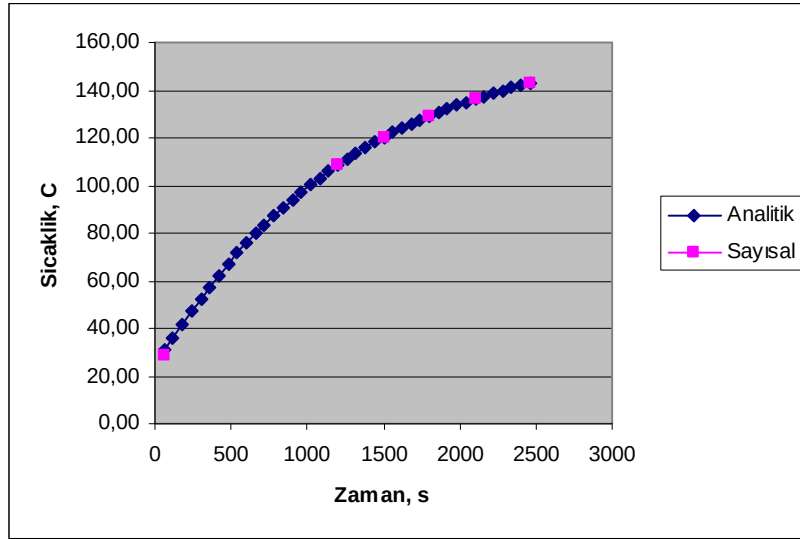
$$Y = \frac{T - T_a}{T_i - T_a} \quad (10)$$

Denklem 11'den elde edilen analitik sonuçları bilgisayar programı veren sonuçlar ile Tablo 2.3'te karşılaştırıyoruz. Tablo 2.3'ten gördüğümüz gibi sonuçlar birbiriyle benzer ve aynı geldiğini söyleyebiliriz. Demek ki halka kek için kullanacağımız program **chtiw** program üzerinde doğru çalıştığını söyleyebiliriz. [2, 4, 12]

Tablo 2.3 Sonsuz levha için sayısal ve analitik değerlerin karşılaştırılması

Zaman, s	Sıcaklık _{analitik} , °C	Sıcaklık _{sayısal} , °C
1200	108,62	108,36
1500	120,08	119,92
1800	129,12	128,97
2100	136,26	136,24
2460	142,87	142,79

Chtiw bilgisayar programı veren sonuçlar ile analitik hesaplanan sonuçları MC Excel grafiği üzerinde koyarsak. Sonuçlar üst üste konduğunu şekil 2.5'te görebiliriz. Şekil 2.5 Sonsuz levha için chtiw (control of heat transfer for an initial wall) kontrol programının sonuçları ile analitik sonuçlar ile karşılaştırma grafiği.



2.2.3.1.2 Sonsuz silindir için ısı transfer kontrolü

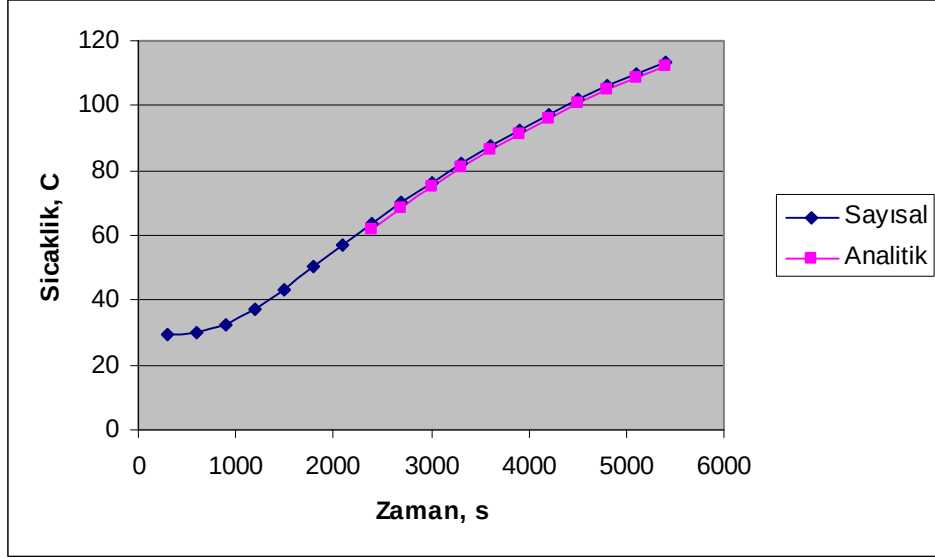
Aynı ısı transfer kontrolü sonsuz silindir geometrisi için de yapılmıştır. Sonsuz silindir için chtic (control of heat transfer for an infinite cylinder) programı elde edilmiş ve bu bilgisayar programı çalıştırarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Analitik hesaplamalar denklem 11 ile yapılarak iki sonuç değerleri Tablo 2.4'te karşılaştırılarak verilmiş ve şekil 2.6'da grafik üzerinde de gösterilmiştir. Analitik çözüm açıklaması Ek 1'de verilmiştir.

$$Y_r = \frac{T - T_{\infty}}{T_{ilk} - T_{\infty}}, \quad \tau_r = \frac{\alpha \cdot t}{R^2}, \quad n_r = \frac{r}{R} \quad (11)$$

Tablo 2.4 Sonsuz silindir için sayısal ve analitik sonuçların karşılaştırılması

Zaman, s	Sıcaklık _{sayısal} , °C	Sıcaklık _{analitik} , °C
2400	63,64	61,91
2700	70,10	68,56
3000	76,25	74,85
3300	82,05	80,73
3600	87,50	86,22
3900	92,61	91,34
4200	97,38	96,11
4500	101,84	100,57
4800	106,00	104,74
5100	109,88	108,62
5400	113,50	112,25

Şekil 2.6 Sonsuz silindir için **chtic** programının sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırma grafiği.



2.2.4 Kütle transfer kontrolü

Kütle transfer kontrolü sonsuz levha ve sonsuz silindir geometrileri için uygulanmıştır. Kütle transfer kontrolü yaparken sıcaklık gradyanı sıfıra eşit diye kabul ederek sonsuz levha için **cmtiw** (control of mass transfer for an infinite wall), sonsuz silindir için **chtic** (control of mass transfer for an infinite cylinder) kodlu programlar elde edilmiştir. Her iki program için ayrı ayrı sayısal sonuçlar elde edilmiş, aynı anda iki cisim için analitik olarak hesaplamalar hesaplanmış. Sayısal ve analitik sonuçlar tablo ve grafik üzerinde karşılaştırılmıştır. Kütle transferini açıklayan Fick'in 2 kanunun analitik olarak çözümü **Ek 2'**de verilmiştir. [1, 2]

2.2.4.1 Sonsuz levha için kütle transfer kontrolü

Sonsuz levha kütle kontrolü için önce sonsuz levha geometrisinin boyutlarını belirledik. Isı transfer ihmal edildiğini varsaydık ve ortam sıcaklık (T_a) ile ürün sıcaklığını eşit kabul ederek ısı transferi ihmal ettik. Sonsuz levha için kütle transfer programı **cmtiw** kodlu isim verdik. **Cmtiw** fortran bilgisayar dilindeki program verdiği sonuçlar analitik hesapladığımız denklem (12) ile karşılaştırarak doğrulandı. Sayısal ve analitik sonuçların karşılaştırılması tablo 2.5'te veriliyor.

Tablo 2.5 Sonsuz levha için sayısal ve analitik değerlerin karşılaştırılması

Zaman, s	X _{sayısal}	X _{analitik}
240	0,350	0,348
600	0,285	0,289
1200	0,208	0,213
1800	0,153	0,153
2100	0,131	0,134
2460	0,109	0,112

$$\overline{X}_z = \frac{\overline{X}_z - X_\infty}{X_{ilk} - X_\infty} = \frac{8}{\pi} \cdot \exp\left(-\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \cdot \frac{D_{gor} \cdot t}{H^2}\right) \quad (12)$$

Şekil 2.7 Sonsuz levha için **cmtiw** kontrol programının sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırma grafiği.



2.2.4.2 Sonsuz silindir için kütle transfer kontrolü

Sonsuz silindir kütle kontrolü için önce sonsuz silindir geometrisinin boyutlarını belirledik. Isı transfer ihmal edildiğini varsaydık ve ortam sıcaklık (T_a) ile ürün sıcaklığını eşit kabul ederek ısı transferi ihmal ettik. Sonsuz silindir için kütle transfer programı **cmctic** kodu verilmiştir. **Cmctic** İngilizce 'control of mass transfer for an infinite cylinder' olarak açıklanır. **Cmctic** fortran bilgisayar dilindeki program verdiği sonuçlar analitik hesapladığımız denklem (13) ile karşılaştırarak doğrulandı. Sayısal ve analitik sonuçların karşılaştırılması tablo 2.6'da veriliyor. Şekil 2.8'de ise sayısal ve analitik

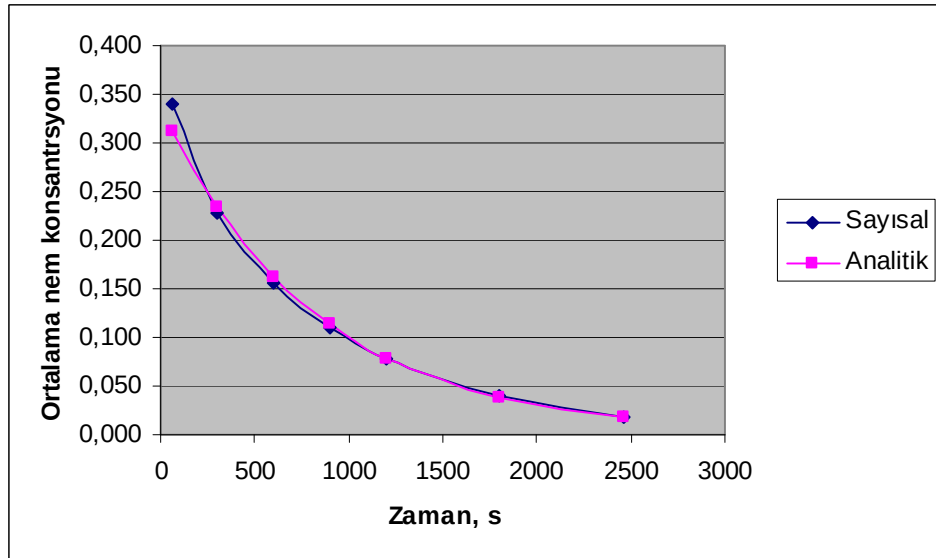
sonuçlar Microsoft Excel çalışma sayfasında karşılaştırıldı grafik halinde şekil 2.8’de veriliyor. [2, 24, 26]

Tablo 2.6 Sonsuz silindir için sayısal ve analitik değerlerin karşılaştırılması

Zaman, s	X _{sayısal}	X _{analitik}
60	0,340	0,3126
300	0,229	0,234
600	0,157	0,163
900	0,110	0,1136
1200	0,07788	0,079
1800	0,0392	0,0384
2460	0,0185	0,01734

$$\bar{X}_r = \frac{X_r - X_\infty}{X_{ilk} - X_\infty} = \frac{4}{\beta_1^2} \cdot \exp\left(-\beta_1^2 \cdot \frac{D_{gor} \cdot t}{R^2}\right) \quad (13)$$

Şekil 2.8 Sonsuz silindir için **cmtiw** kontrol programının sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırma grafiği.



2.3.3 Isı ve kütle transfer özelliklerinin belirlenmesi

2.3.3.1 Isıl iletkenlik katsayısı (k, W/m K)

Isı iletim katsayısı (k) birim kalınlıktaki bir cismin, birim yüzeyinden birim zamanda cismin iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının 1°C olması halinde geçen ısı

miktardır. Isı iletkenlik katsayı her madde ve ürün için farklı olup, ısıyın geçtiği yöne, ürün içerisindeki neme ve sıcaklık değerine göre değişmektedir. Bizim işlemde ısı iletkenlik katsayısı Ege Üniversitesi Öğretim elemanı Dr. Melike Sakin'in kap kek için kullandığı değer bizim çözümlerde uyumlu sonuç vermesi nedeniyle halka kek için kullanılmaktadır. [1, 12, 16, 26]

2.3.3.2 Konvektif kütle transfer katsayısı (k_c , m/s)

Konvektif kütle transfer katsayısı (k_c), pişirme işlemi sırasında ürün yüzeyinden ortama konveksiyon ile nem transfer hızını gösterir. Kütle aktarımı genellikle denklem 14 ile ifade edilir.

$$N_A = k_c \cdot (C_A - C_\infty) \quad (14)$$

Burada, C_A , madde konsantrasyonu, mol/m³; C_∞ , ortam konsantrasyonu, mol/m³; N_A , kütle aktarımı,; k_c , konvektif kütle transfer katsayısı, W/m K'dir. Denklem 14'teki terimleri tek tek açıklarsak; kütle aktarımı uçurulan su miktarının zaman, alan ve suyun moleküler ağırlığına olan oranına eşittir. Bu ifade aşağıdaki denklem 15'te açıklanmıştır.

$$N_A = \frac{kg(uçurulan su)}{zaman \cdot alan \cdot MW} = \frac{M_{su}}{t \cdot A \cdot MW} \quad (15)$$

Burada, M_{su} , pişme sırasında üründen uçurulan su miktarı, kg; Başlangıçta ürün içerisindeki nem konsantrasyonu $X_{in} = 0.56$, son nem konsantrasyonu $X_{son} = 0.525$ 'tir. Ürün içerisindeki başlangıç su miktarı % 35.9 ise ve ürünün kütle ağırlığı 0.357 kg olduğu belli. Başlangıçta ürün içerisinde bulunan su miktarı 0.128 kg hesaplanmıştır. Son nem konsantrasyonu 0,525, ürün içerisindeki su miktarı % 34,4 ise pişme işlem sonunda ürün içerisinde bulunan su miktarı 0,120 kg olarak hesaplanıyor. Demek pişme işleminde toplam uçurulan su miktarı 0,008 kg'dır. t, pişme süresi, 40 dakika veya 2400 saniyedir; A, kütle aktarımı gerçekleşen alan, $A = \pi (r^2 - r_a^2) + \pi r^2 = 0.0352 \text{ m}^2$ 'e eşittir; MW, suyun molekül ağırlığı. [1, 2, 6]

Denklem 14'teki madde konsantrasyonu C_A denklem 18 ile hesaplanmaktadır. Burada, P_A , atmosfer basıncı, Pa; R, gaz sabiti, J/kg K; T, sıcaklık, K'dir.

$$C_A = \frac{P_A}{RT} \quad (18)$$

Bütün değerleri yerine, denklem 18'e koyup hesaplırsak C_A 0,0327 elde edilmiştir.

$$C_A = \frac{P_A}{RT} = \frac{101325}{8314.3 \cdot 373} = 0.0327 \text{ kg/m}^3$$

Referans aldığımız makaleden $C_\infty = 0$ olduğu bilinmiştir. Denklem 14'teki bütün bilinenleri aşağıdaki hesaplamaya uygulayarak k_c 'yi 0.000016 m/s bulmuştuk.

$$\frac{0.008}{2400 \cdot 18 \cdot \pi (0.08^2 - 0.04^2) + \pi \cdot 0.08^2} = k_c \cdot \frac{101325}{8314.3 \cdot 373}$$

Halka kek için k_c değeri iki noktaya göre tek tek üst kabuk için k_c (i, mp1) = 1.3e-5 m/s ve alt kabuki için k_c (i, 1) = 1.1e-5 m/s olarak alınmıştır. Alınan bu değerler «ringcakebaking.f90» bilgisayar programında kullanılarak çok iyi uyumlu sonuçları vermiştir. Konvektif kütle transfer katsayısı k_c referans olarak Sakin (2005) kap kek üzerinde çalıştığı makalesinde $k_c = (1-1,2) \cdot 10^{-5}$ m/s olarak alınmıştır. Bizim hesaplayarak alınmış değere çok yakın ve uyumlu sonuç sağlamaktadır.

2.3.3.3 Görünür nem difüzivitesi

Kek pişirme sırasında kek hamurun içindeki suyun hareket hızını belirleyen faktör nem difzivitesidir ($D_{gr}$, m^2/s). Bizim işimizde kek pişirme zamanında görünür nem difüzivite katsayısını deneysel olarak belirleme işlemi yapılmamıştır. Görünür nem difüzivite katsayısı Baik and Marcotte çalışmalarında kullandığı denklem 14 referans olarak almış. Bizim halka kek için elde ettiğimiz programda denklem 14 ile görünür difüzivite hesaplanarak kullanılmıştır. Alınan değerler uyumlu değer vermesi nedeniyle bu denklemin halka kek için kullanılabilmesine karar verilmiştir. Görünür nem difüzivite ile birlikte üründeki nem kaybı, yükseklik değişimi aşağıda belirtilen denklem (15) ve (16) ile hesaplanmaktadır. [1, 2]

$$D_{eff} = 0.4802 \cdot e^{-7028.8/T, K} \quad (14)$$

$$\% \text{ nem kaybı} = \frac{(m_{son} - m_{ilk})}{m_{ilk}} \cdot 100 \quad (15)$$

$$\% \text{ yükseklik değişimi} = \frac{(H_{son} - H_{ilk})}{H_{ilk}} \cdot 100 \quad (16)$$

Burada, m, ağırlık (kg); H, yükseklik (m)'dir.

2.3.3.4 Yüzey ısı transfer katsayısı (h_c , W/ m² K)

Piştirme işlem sırasında önemli bir faktörlerin biri de bu yüzey ısı transfer katsayısıdır. Yüzey ısı transfer katsayısı piştirme sırasında ürünü etkileyen konveksyon ve radyasyon ısı transfer katsayılarının toplamı olarak alınmıştır. Yani yüzey ısı transfer katsayısını belirleyen denklem şu şekilde yazılır.

$$h_c = h_k + h_r$$

Burada h_k , konveksyon ısı transfer katsayısı (W/ m² K); h_r radyasyon ısı transfer katsayısı (W/ m² K)'dir. Konveksyon ve radyasyon ısı transfer katsayıları halka kek için hazırladığımız programda Dr. Melike Sakin kullandığı kap kek için değerleri kullanılmıştır ve uyumlu sonuçlar vermesi nedeniyle bu değerler halka kek için de kullanılmaktadır. [1, 2, 24]

2.3.3.5 Isıl difüzivite (α , m²/s)

Isıl difüzivite ürüne, maddeye aktarılan ısıнын ürün içine difüzlenme hızını gösteren bir faktördür. Isıl difüzivite katsayısı diğer ısı özellikleri gibi ürünün yapısına, aktarılan ısı yönüne, ürünün bileşimi v.b. çeşitli faktörlere bağlıdır. Halka kek için elde ettiğimiz bilgisayar programda bu katsayı literatürden alınarak denklem 18'de verildiği şekilde kullanılmıştır. [1, 27, 30, 32]

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot Cp} \quad (18)$$

2.4 Veri Analizi

Bu çalışmada bilgisayar programı ile elde ettiğimiz değerler MC Excel çalışma sayfalarına işlenmiştir. Isı ve kütle transfer kontrol programlarının sonuçları, analitik sonuçlar ile karşılaştırılması MC Excel üzerinde gerçekleştirilmiştir. Halka kek kek türü için elde ettiğimiz bilgisayar programı ve bütün kontrol programlar Fortran bilgisayar dilinde ayarlanmıştır.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Halka kek pişirme işlemi bir eşzamanlı ısı ve kütle transferi işlemi olarak ele alınıp sayısal ve analitik yöntemlerle incelenmiştir. İşlemin deneysel kısmı yapılmadı, ama modelleme işlemi yapılırken pişme sırasında kek hamurunda gerçekleşen bütün prosesler öne alınarak, bütün mekanizmalar belirlenerek model elde edilmiştir. Kek pişme süresin boyunca kek uğradığı fiziksel proseslerin etkisiyle olan yükseklik değişimi, nem kaybı gibi ifadeler tez içeriğinde teori açıdan belirlenmiştir ve gerekli hesaplamalar ile bulunmuştur.

Matematiksel modelleme çalışması, tez projesinin amacı doğrultusunda, analitik çalışmayla paralel yürütülmüştür ve karşılaştırılmıştır. İki işlemin sonuçları karşılaştırarak Microsoft Excel çalışma sayfasında tablolar ve grafikler halinde elde edilmiştir ve bu değerler tez içeriğinde bulunmaktadır. İşlem sırasında gerçekleşen eşzamanlı ısı ve kütle transfer mekanizmaları, sıcaklık ve nem profillerinin çözümünü veren Fourier ve Fick denklemlerinin çözümünde uygun sınır koşulları halinde yazılarak sözü geçen işlemi her iki geometride (sonsuz levha, sonsuz silindir) matematiksel ifadelerle tanımlayan birer model kurulmuştur. Matematiksel modellerin çözümünde sonlu farklar sayısal yöntemi kullanılmıştır. Bütün bu operasyonlar bitirme tezine eklenen eklerde açıklanmıştır. Sayısal çözüm sonuçları her iki transfer işlemi için ayrı ayrı analitik çözüm sonuçlarıyla karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Fırında kek pişirme işlemini temsil eden matematik modellerin farklı işlem koşullarında sayısal çözümü gerçekleştirilmiş, uygulanan hassasiyet analizleri ile önemli işlem değişkenlerinin sayısal sonuçlar üzerine etkisi irdelenmiştir.

3.1 Halka kek için kontrol programlar

Isı transfer açısından sonsuz silindir geometrisi için sıcaklık profillerini belirlemede sayısal ve analitik sonuçlar karşılaştırılmıştır. Halka kek için ısı ve kütle transfer açısından elde edilecek bilgisayar programının analitik değerler ile uyumlu sonuçlar vermesi bu programın halka kek için kullanılmasının ön şartı olarak belirlenmiştir. Sonsuz levha ve sonsuz silindir geometrileri için uyumlu sonuç veren programı halka kek için modifiye ederek daha birkaç kontrollerden geçirilmiştir. Her kontrol için modifiye edilen programa özel isim verilerek onun verdiği sonuçlar analiz

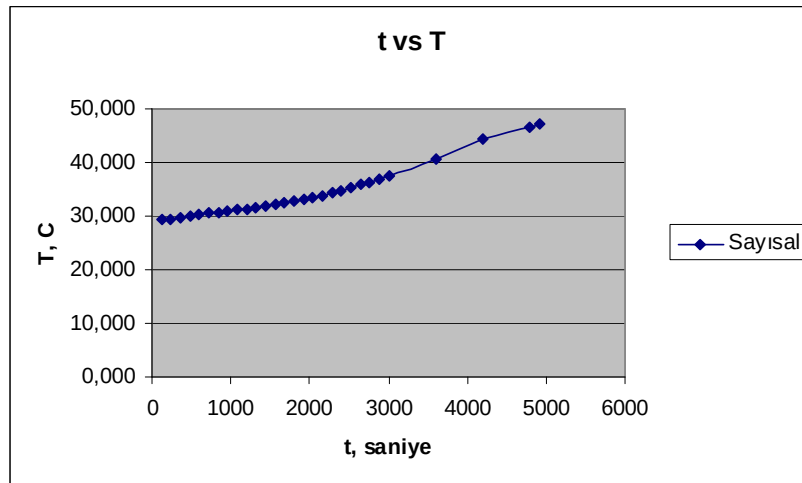
edilmiştir. Bu kontrol programlara aşağıdaki isimler (kodlar): 1) Ring.for 2) Halkek. f90. kodları verilmiştir. Bu programlardan alınan sonuçlar analitik sonuçlarla karşılaştırılarak tez içerisinde açıklanmıştır.

3.2 Ring.For programı

Ring.for (ring - ingilizceden yuvarlak anlamını verir) isminin verilmesi halka kek yuvarlak olduğundan dolayı gelmiş. Ring.for programında merkez sıcaklığın zamanla değişimi, nem konsatrasyonunun zamanla değişimi ve kalınlığın zamanla değişimi ele alınmıştır.

Yuvarlak kek merkez sıcaklığın zamanla değişimi kek hamurundaki diğer noktalara göre daha düşük olacaktır. Çünkü sıcaklık dağılımı merkez bölgesine en son gelecek şekilde ısı transfer mekanizması halka kek modelinde gerçekleşir. Merkez bölgesindeki sıcaklık zamanla değişim grafiği tablo 3.1’de verilen değerlere göre şekil 3.1’ de vermektedir. Tablodaki değerlere göre halka kek hamurun merkez bölgesindeki sıcaklık 80 dakika içerisinde sadece 18 °C’e kadar yükselmiş. Pişme esnasında hamurun merkez bölgesindeki sıcaklık bu kadar küçük sıcaklık değişimi Ring. for bilgisayar programda sıcaklık profil belirlemelerinde hata varlığını bahsetmektedir. Demek ki Ring.for programı sıcaklık dağılımı tam ölçemiyor ve modifiye edilmesi gerekmektedir. Buna rağmen Ring.for programın kütle transfer açısından verdiği sonuçlar düzgün ve doğru çıkmıştır. Bu sonuçlar şekil 3.2 ve şekil 3.3’te verilmiştir. Özellikle şekil 3.3’te Ring.for bilgisayar program sonuçları Dr. Melike Sakin’in sonuçları ile bir düzeyde çıkmıştır.

Şekil 3.1 Ring.for programının yuvarlak kek merkez sıcaklığın zamanla değişimi

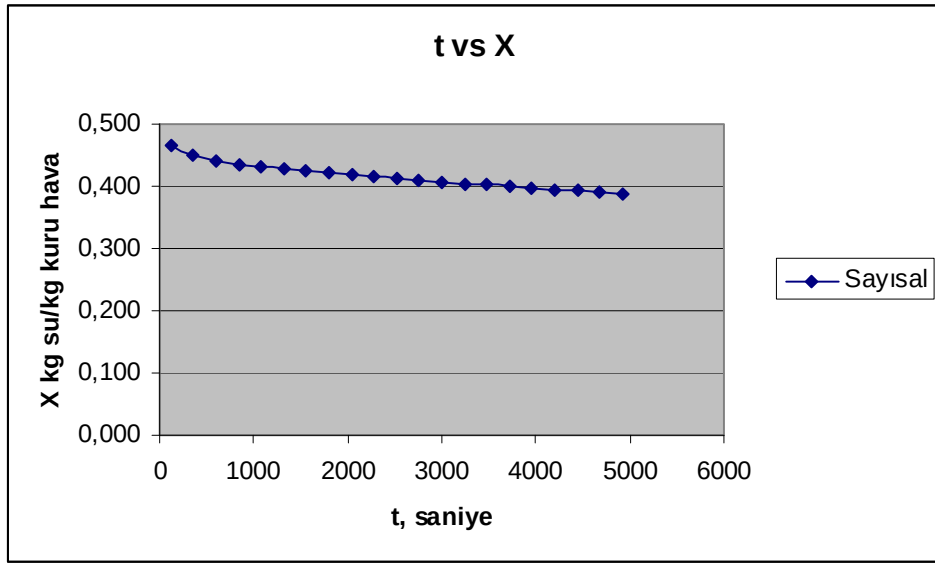


Tablo 3.1 Merkez bölgesindeki sıcaklık değişimi

t, saniye	120	720	1320	1920	2520	3000	4920
T, °C	29,23	30,53	31,62	33,06	35,26	37,49	47,31

Ring.for program ile nem konsantrasyonunun zamanla değişimi de ele alınmıştır. Ortalama nem konsantrasyonunun zamanla değişimi şekil 3.2’de verilmektedir.

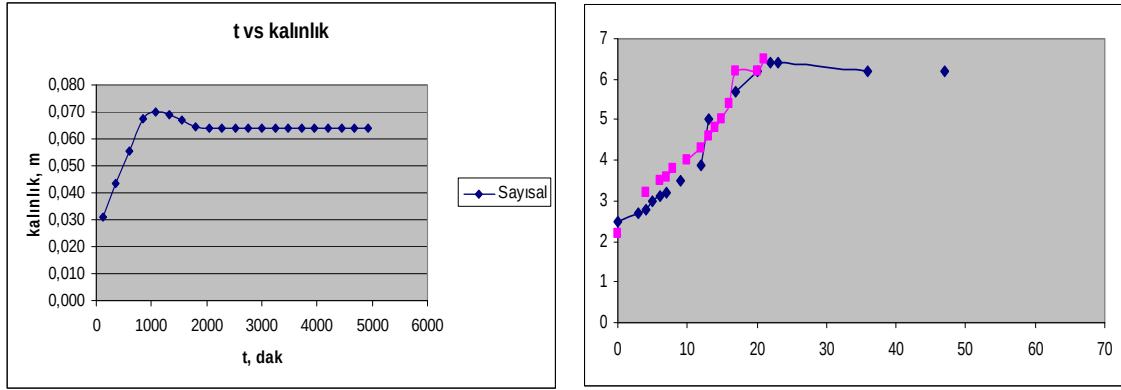
Şekil 3.2 Zamanla ortalama nem konsantrasyonunun dğişimi



Bitirme tez işimizde laboratuvar veya deneysel işlemler yapılmadı. Halka kek için hazırladığımız bütün programlar analitik olarak hesaplanan sonuçlarla karşılaştırıldı. Bundan başka halka kek için elde edilmiş program sonuçları Sakin (2010) basılmamış araştırma sonuçları ile karşılaştırıldı. Bu program veren sonuçlar ile bizim halka kek için hazırladığımız program sonuçları ile karşılaştırılarak dorğulandı. Örneğin: Ring.for program sonuçları Dr. Melike Sakin program sonuçları yükseklik değişimi boyunca karşılaştırılması şekil 3.3’te verişmiştir. Gördüğünüz gibi yükseklik değişimi hem veriler boyunca hem de çizilmiş grafikler boyunca de biri birine çok yakındır.

Şekil 3.3 Ring.for program ve Dr. Melike Sakin program karşılaştırılması

Ring.for program sonuçları	Dr. Melike Sakin program sonuçları
Yükseklik değişimleri 0,030 – 0,064 m	Yükseklik değişimi 0,025 – 0,064 m



3.3 Halkek. f90 program kontrolü

Halka kek için kullanacağımız programlar Fortran 95 yeni bilgisayar programı kullanarak daha yeni programlar elde edilmiştir. Ring.for programın modifiye ederek kütle transfer açısından daha uyumlu sonuç verir Halkek.f90 programı modifiye edilmiştir. Bu program yeni Fortran program dilinde yazıldı ve çalıştırıldı. Halkek.f90 bilgisayar programı kütle transfer açısından verdiği sonuçlar bütün programlar kontrol edildiği gibi analitik sonuçlarla karşılaştırılarak kontrol edilmiştir. Kontrol 3 değişik şartlarda 1) $Bi = 1$, 2) $Bi = 0$, 3) ortalama nem konsantrasyonuna göre yapılmıştır. 3 kontrol kütle transfer model işlemler için birkaç varsayımlar kabul edilmiştir:

- D_{eff} , k_c sabit;
- Sıcaklık etkisi olmaması için program şartına $T_a = T_r = T_{in}$;
- kalınlık = ilkkalınlık;

$$Bi = \frac{k_c \cdot x_i}{D_{eff}} = \frac{1.2 \cdot 10^{-6} \cdot 0.025}{3 \cdot 10^{-8}} = 1$$

$Bi = 1$ şartında halkek.f90 bilgisayar programı veren değerler analitik olarak denklem 'den hesaplanmıştır.

$$\frac{X}{X_{in}} = A_1 e^{-\lambda_1^2 X}$$

Burada, X nem konsantrasyonu, kg su/ kg kuru hava; X_{in} , başlangıç nem konsantrasyonu, kg su/ kg kuru hava; A_1 ve λ_1 katsayılar; A_1 ve λ_1 değerleri tablo 2.2'den alınacaktır.

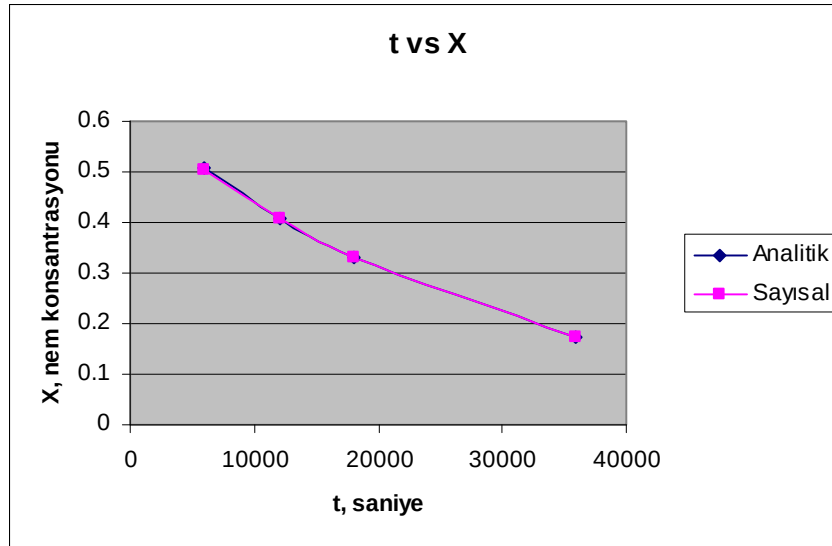
$$X = \frac{D_{eff} \cdot t}{x_i^2}$$

Burada, D_{eff} , efektif difüzyivite, $3e-8$ m/s; t , zaman, saniye; x_i , ilkkalınlık, 0,025 m olarak alınmıştır.

Tablo 3.2 Halkek.f90 program sonuçlarının analitik sonuçlarla karşılaştırılması

t, saniye	6000	12000	18000	36000
$X_{analitik}$	0,506	0,4087	0,3305	0,174
$X_{sayisal}$	0,5036	0,4092	0,3307	0,1744

Şekil 3.4 Halkek.f90 program sonuçlarının analitik sonuçlarla karşılaştırılması



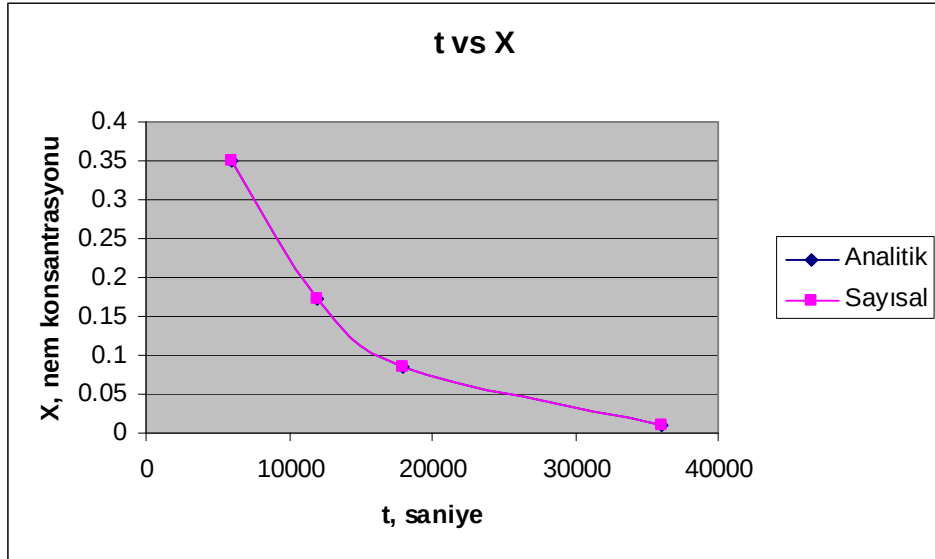
Şekil 3.4'te verilen analitik sonuçlar belli olan formüllerle hesaplanmıştır ve sayısal değerler % oranda 100% olduğu görülmektedir. Halkek. f90 programı halka kek için son elde edeceğimiz program için kullanılabilir.

2) $Bi = \infty$ şartı için Halkek.f90 bilgisayar programı $Bi = 1$ şartlarında kullandığımız parametreleri kullanmıştık. Yalnızca $Bi = \infty$ için konvektif ısı katsayısı k_c , A_1 ve λ_1 değerleri tablo 2.2'den değişik olarak alınacaktır.

Tablo 3.3 $Bi = \infty$, Halkek.f90 program sonuçlarının analitik sonuçlarla karşılaştırılması

t, saniye	6000	12000	18000	36000
$X_{analitik}$	0,35	0,1722	0,0846	0,01
$X_{sayisal}$	0,3497	0,1723	0,0845	0,011

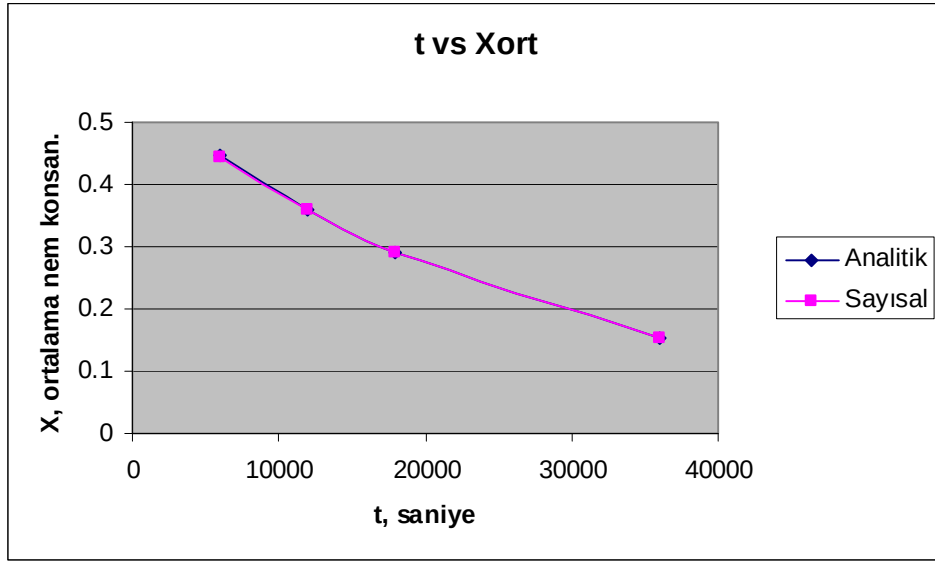
Şekil 3.5 $B_i = \infty$, Halkek.f90 program sonuçlarının analitik sonuçlarla karşılaştırılması



3) Halkek. f90 program ile aynı anda kek hamuru içerisindeki ortalama nem kontrolü ele alınmıştır. Biliyorsunuz ortalama nem ürün içerisindeki iç karışımında bulunan nemdir. Bu nem konsantrasyonuna bağlı ürünün pişme kalitesini belirleyebiliriz. Halkek. f90 programı ortalama nem açısından de uyumlu sonuç sağlayabilmiştir. Bu uyumluğu Tablo 3.4’ te verilen deneysel sonuçlarla karşılaştırma yaparak ve şekil 3.6’da görebilirsiniz. Tablo 3.4 Halkek.f90 program sonuçları ortalama nem konsantrasyona göre analitik sonuçlarla karşılaştırılması

t, saniye	6000	12000	18000	36000
$X_{analitik}$	0,4458	0,3601	0,2912	0,1533
$X_{sayısal}$	0,4437	0,3583	0,2895	0,1527

Şekil 3.6 Halkek.f90 program sonuçlarının ortalama nem konsantrasyonuna göre analitik sonuçlarla karşılaştırılması



3.4 Halkakek.f90 (Ringcakebaking. f90) programı

Sonsuz silindir geometrisinde hem sıcaklık profilleri hem de kütle profilleri sayısal (numerik) olarak çözülmüştür. Program veren sonuçları karşılaştırmak için deneysel sonuçlar, referans olarak Ege Üniversitesi Öğretim Elamanı Dr. Melike Sakin'in basılmamış araştırma sonuçları kullanılmıştır. Bu deneysel sonuçlar Dr. Melike Sakin tarafından kap kek için eşzamanlı ısı ve kütle transferi matematiksel modellenmesi için elde edilmiştir ve halka kek için kullanılarak sonuçlar alınmıştır. Halka kek için elde ettiğimiz bilgisayar programa '**Ringcakebaking. F90**' (başka bir ismi 'Halkakek. f90') kodu verilmiştir. Program kodu 'halka kek pişirilmesi' anlamını vermektedir. Bu program tez boyunca kontrol yapılan bütün programların verdiği sonuçlara göre modifiye ederek alınmıştır. **Ringcakebaking. F90** bilgisayar programı hep kontrolden geçen bilgisayar programlar üzerinde elde edilmiştir. Ringcakebaking. F90 bilgisayar programı yeni Fortran 95 bilgisayar dilinde hazırlanmıştır. Bu programa bile ısı ve kütle transferi açısından birkaç kontroller yapılmıştır. Alınan sonuçlar deneysel sonuçlar ile 165 °C, 185 °C ve 205 °C sıcaklık değerlerinde sıcaklık ve kütle transfer kontrolü olarak iki ayrı şikkında karşılaştırılmıştır. Halka kek için elde edilmiş bilgisayar programı çalıştırırken önceden halka kek modeli için

- sadece üst ve alt yüzeylerde konveksiyonla kütle aktarımı alınmıştır.

- Yer çekim kuvvetler etkisiyle hamur içerisinde su düzgün dağılmıyor diyen şartlar kabul edilmiştir.

3.3.1 Kütle transferi kontrolü

Ringcakebaking. F90 halka kek için modifiye edilmiş bilgisayar programı kütle transferi açısından halka kek hamur ile fırın ortamındaki gerçekleşen kütle transferi açıklayacaktır. Tez amacı olan halka kek pişirilmesinin ısı ve kütle transferi açısından Ringcakebaking. F90 programı sağlamaktadır. 165 °C, 185 °C ve 205 °C sıcaklık değerlerinde alt, üst ve iç yüzeylerdeki nem konsantrasyonlar alınmıştır ve deneysel değerler ile karşılaştırılmıştır. 165 °C sıcaklığı için değerler tablo 3,5' te ve şekil 3'7de verilmiştir.

Tablo 3.5 165 °C sıcaklıkta iç yüzeydeki nem konsantrasyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması

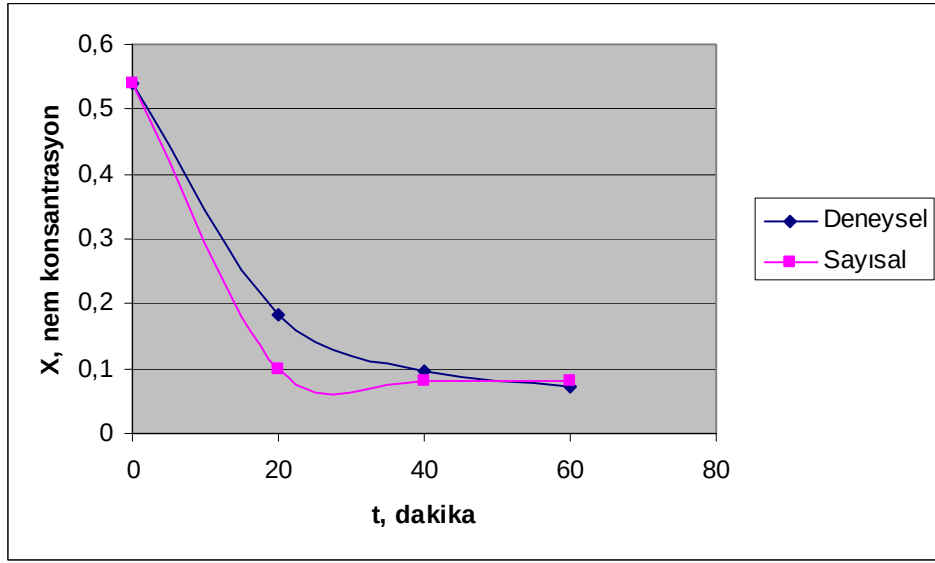
t, dakika	0	20	40	60
X _{deneysel}	0,54	0,56	0,545	0,535
X _{sayısal}	0,54	0,536	0,523	0,539

165 °C sıcaklıkta alt ve üst yüzeyler için elde edilen değerler çok uyumluluğu sağlamıştır. Ringcakebaking. f90 bilgisayar programında alınan datalar noud veya noktaya göre alınmıştır. Deneysel değerler ile yapılan karşılaştırmalar tablo 3.6, 3.7'de ve şekil 3.7, 3.8' de verilmiştir.

Tablo 3.6 165 °C sıcaklıkta alt yüzeydeki nem konsantrasyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması

t, dakika	0	20	40	60
X _{deneysel}	0,54	0,1	0,095	0,071
X _{sayısal}	0,54	0,18	0,082	0,0797

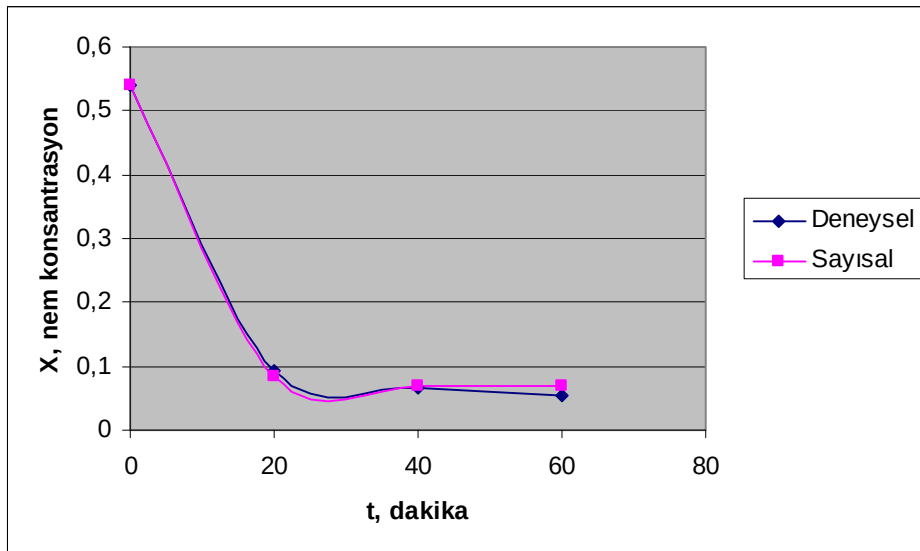
Şekil 3.7 165 °C sıcaklıkta alt yüzeydeki nem konsantrasyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılma grafiği



Tablo 3.7 165 °C sıcaklıkta üst yüzeydeki nem konsantrasyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması

t, dakika	0	20	40	60
X_{deneysel}	0,54	0,094	0,07	0,055
$X_{\text{sayısal}}$	0,54	0,084	0,07	0,068

Şekil 3.8 165 °C sıcaklıkta üst yüzeydeki nem konsantrasyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması

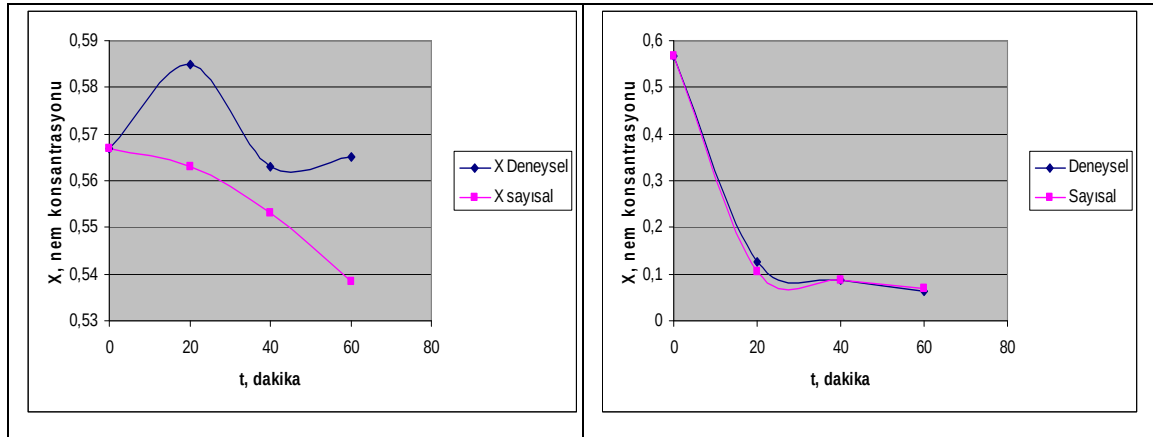


Halka kek için yapılan kütle transferi açısından en uygun olarak 185 °C sıcaklık değeri seçilmiştir. Aynı anda bu sıcaklık 165 °C ve 205 °C ortalama değeri olarak da alınabilir. İleri karşılaştırma işleminde 185 °C sıcaklığı için yapılacaktır ve genel yorumlar, sonuçlar buna göre yazılacaktır. Ringcakebaking. f90 programın 185 °C için kütle transfer verileri tablo 3.8’de iç, alt ve üst yüzeyler için deneysel değerlerle karşılaştırılması verilmiştir.

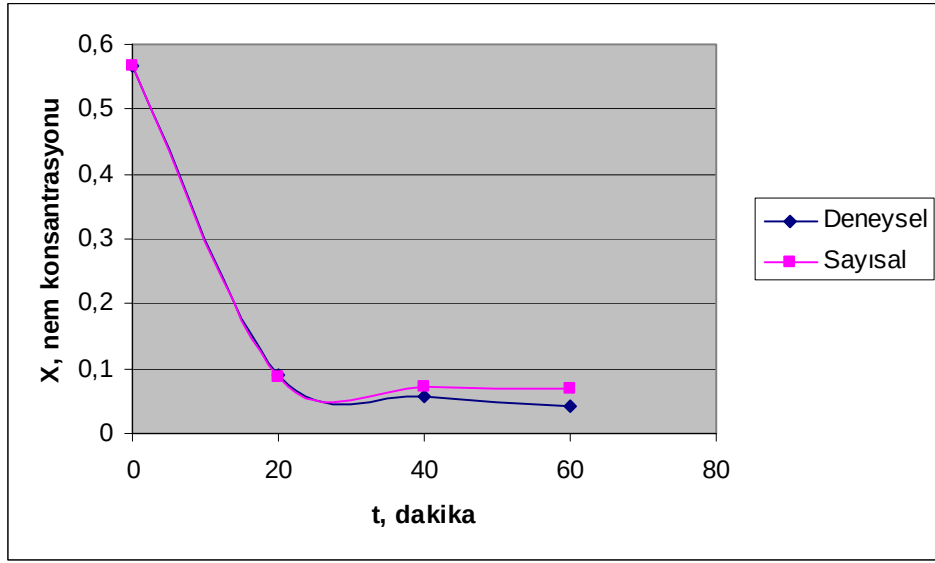
Tablo 3.8 185 °C sıcaklık değerinde alt, üst ve iç yüzeylerdeki nem konsantrasyonlar

İç yüzey değerleri			Alt yüzey değerleri			Üst yüzey değerleri		
t, dak.	X _{deneysel}	X _{sayısal}	t, dak.	X _{deneysel}	X _{sayısal}	t, dak.	X _{deneysel}	X _{sayısal}
0	0,567	0,567	0	0,567	0,567	0	0,567	0,567
20	0,585	0,563	20	0,125	0,105	20	0,089	0,088
40	0,563	0,553	40	0,088	0,087	40	0,057	0,074
60	0,565	0,538	60	0,062	0,068	60	0,043	0,068

Şekil 3.9 185 °C sıcaklık değerinde iç ve alt yüzeylerdeki deneysel ile sayısal değerlerin karşılaştırılması



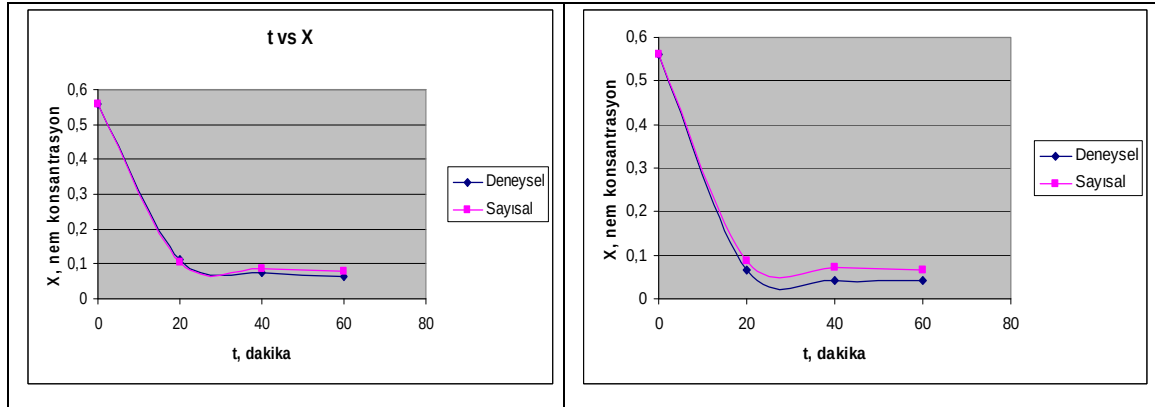
Şekil 3.10 185 °C sıcaklık değerinde üst yüzeydeki deneysel ile sayısal değerlerin karşılaştırılması



Tablo 3.9 205 °C sıcaklık değerinde alt, üst ve iç yüzeylerdeki nem konsantrasyonlar

İç yüzey değerleri			Alt yüzey değerleri			Üst yüzey değerleri		
t, dak.	X _{deneyisel}	X _{sayısal}	t, dak.	X _{deneyisel}	X _{sayısal}	t, dak.	X _{deneyisel}	X _{sayısal}
0	0,56	0,56	0	0,56	0,56	0	0,56	0,56
20	0,575	0,555	20	0,114	0,104	20	0,066	0,087
40	0,5635	0,542	40	0,076	0,086	40	0,043	0,073
60	0,589	0,532	60	0,079	0,068	60	0,042	0,067

Şekil 3.11 205 °C sıcaklık değerinde alt ve üst yüzeylerdeki nem konsantrasyonlarının deneysel ile sayısal değerlerin karşılaştırılması



Ringcakebaking. F90 bilgisayar programında kütle transferi aynı anda hesaplanacak nokta sayılarını artırarak da bir kez kontrol edilmiştir. Yani silindir kafes sisteminde başlangıçta 11 noktaya göre program modeli çalışırken, biz nokta sayısını 22'e kadar arttırmıştık. Modelin ısı ve kütle transferi açısından yaptığı hesaplamalarda farklılık olup olacağı kontrol edilmiştir. Böyle bir karşılaştırma Tablo 3.10' da verilmiştir. Modelde noud sayısını artırdığımızda çok bilinerlik fark görünmemiştir. Belli bir küçük oranda 22 noud için modelin verdiği sonuçlar daha uyumlu olduğunu söyleyebiliriz. Hem alt tabaka hem de iç tabakalar için de 11 ve 22 noud için yapılan sonuçlar çok fark göstermemiştir. Ama sonraki çalışmalar için 22 noud değerleri kullanarak modelin başka hesaplamaları ele alınacaktır.

Tablo 3.10 185 °C sıcaklığında üst yüzeydeki nem konsantrasyonun 11 ve 22 noud sayısına göre alınmış değerlerin karşılaştırılması

t, dakika	0	20	40	60
X_{deneysel}	0,567	0,089	0,057	0,043
$X_{\text{sayısal}} 11 \text{ noud}$	0,567	0,088	0,074	0,068
$X_{\text{sayısal}} 22 \text{ noud}$	0,567	0,09	0,075	0,065

3.6 Sıcaklık profilleri

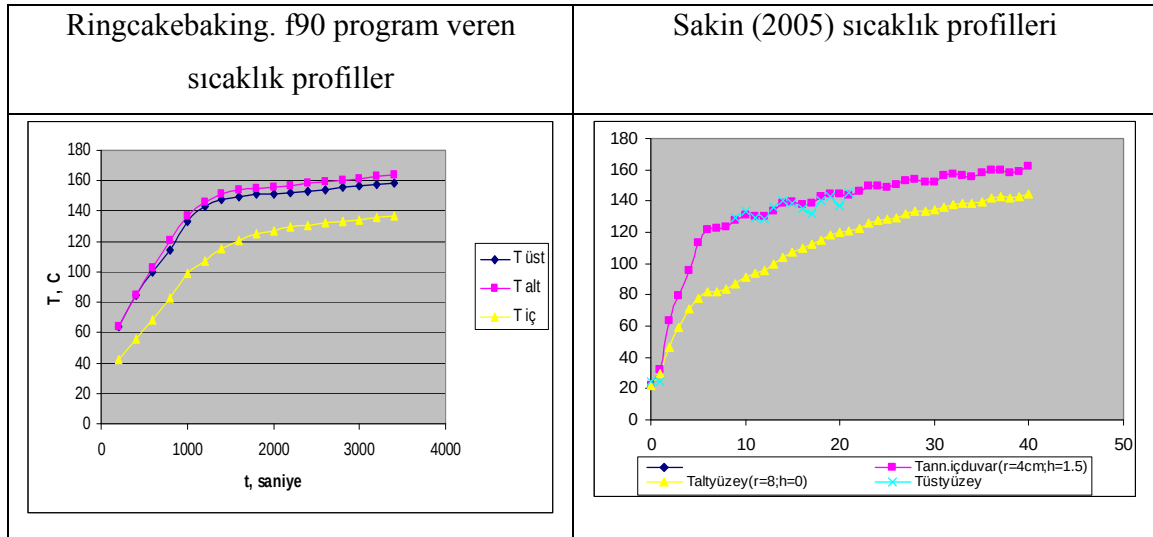
165, 185 ve 205 °C derecelerdeki kek hamurun annülüs iç, iç karışım, alt yüzeylerdeki sıcaklık profilleri elde edilmiş ve sıcaklık profilleri ifade eden şekiller sırasıyla Şekil 3.18, 3.19, 3.20 'da verilmektedir. **Ringcakebaking. f90** bilgisayar programı kütle transfer açısından deneysel sonuçlar ile iyi uyumluğu göstermiştir. Halkek. f90 ve Ring. for program çalışmalarında halka kek için test edilen parametreler boyunca alınmış değerlere göre Ringcakebaking. f90 programı 165, 185 ve 205 °C sıcaklık derecelerinde çalıştırılmıştır. 22 noud boyunca (başlangıçta 11 noud kullanılmıştır, ama duyarlılığı yükseltmek amacıyla noud sayısı iki kat artırılmıştır) alınan sonuçlara göre sıcaklık kontrolü yapılmıştır. Alınan sayısal değerler ile deneysel değerler

sonra Microsoft Excel çalışma sayfasında karşılaştırılacak, grafikler ve tablolar halinde tez içeriğinde verilmiştir.

Bizim halka kek için optimum koşullar ile birlikte uygun sıcaklık değerleri tayin etmek tez boyunca yürüttüğümüz amaçlardan birisidir.

Ringcakebaking. f90 program veren sonuçları deneysel sonuçlar Sakin (2010) ile karşılaştırma işleminde hep 185 °C için alınan değerler kullanılmıştır. 165 ve 205 °C için de değerler alınmış ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmış. Ama yukarıda belilediğimiz gibi ortak değer olarak 185 °C seçilmiştir. Üst, alt ve iç yüzeylerdeki sıcaklık dağılımı şekil 3.18 'de verilmiştir. Ring. for programındaki sıcaklık profilleri belirlemede olan eksikler çözülmüştür ve Ringcakebaking. f90 programında çalıştırarak düzgün sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 3.12'de görüldüğü gibi iç karışımındaki (merkez bölgesi) sıcaklık diğer bölgelere göre daha düşüktür. Çünkü iç karışım ısınma işleminde en soğuk bölgedir. Alt ve üst yüzeyler çok hızlı ısınıyor ve belli süre geçince sabit olmaya başlıyor. Alt yüzey diğer yüzeylere göre hem metal üzeyinden hem de sıcak hava etkisiyle çok çabuk ısınıyor ve bu yüzden alt yüzey en yüksek sıcaklık değerleri de göstermiştir.

Şekil 3.12 185 °C'de alt, üst ve iç yüzeylerdeki Ringcakebaking. f90 program ile Sakin (2005) sıcaklık dağılımların karşılaştırılması



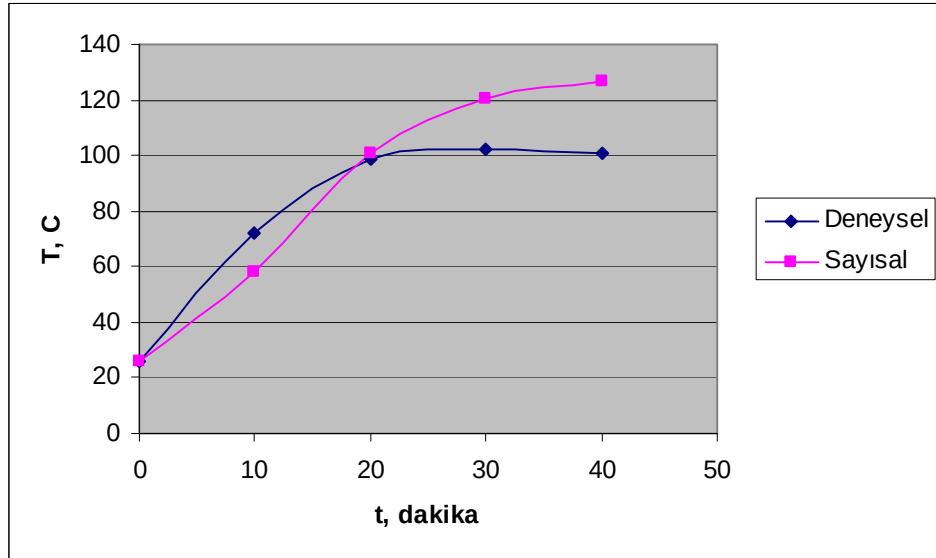
İç karışım bölgesi sıcaklık etkisiyle ısınmaya başlar ve hamur içinde gerçekleşen bütün proseslerin bulunduğu bölgedir. Deneysel sonuçlara göre bu bölgede sıcaklık 20 dakika arasında çok çabuk 25,7 °C 'den 98,9 °C 'e kadar yükselmiştir. Sonra sabit

noktaya gelir ve bu noktada durur. Bizim Ringcakebaking. f90 program sonucunda alınan sayısal değerler deneysel sonuçlar ile aynen hızlı artıyor ama sabit noktaya daha yavaşça ulaştığını şekil 3.13'te görebilirsiniz ve bu değerler tablo 3.11'de verilmiştir. 30 dakikadan sonra sıcaklığın deneysel sonuçlardan biraz farklılığı ısı transfer katsayısına ve başka termofiziksel özelliklere bağlı diye düşünmektedir.

Tablo 3.11 185 °C iç karışım ($r = 7,5$ cm; $h = 3,5$ cm) bölgesindeki deneysel ile sayısal sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması

t, dakika	0	10	20	30	40
$T_{\text{deneysel}} \text{ } ^\circ\text{C}$	25,7	72,2	98,9	102,2	101,1
$T_{\text{sayısal}} \text{ } ^\circ\text{C}$	25,7	57,93	100,83	120,09	126,55

Şekil 3.13 185 °C iç karışımındaki sıcaklıkların deneysel değerler ile karşılaştırılması



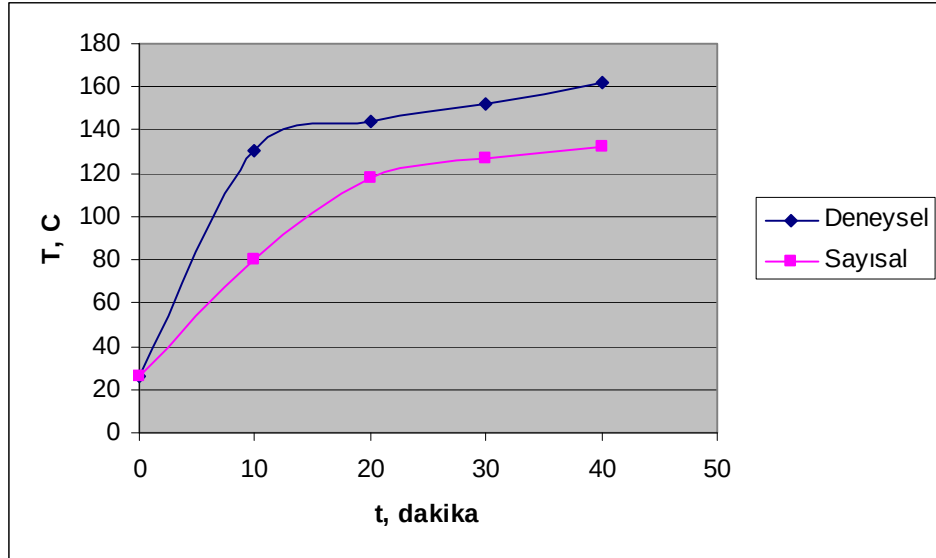
Annülüs iç duvar bu halka kek ürünün yuvarlak kısmının iç bölgesidir. Geometrik olarak $r = 4$ cm; $h = 1,5$ cm parametreleri içerir. Annülüs iç duvar bölgesi aynı anda hem sıcak hava etkisiyle hem de metal (kek ürünün merkezinde yuvarlak boşluğu elde etmek için kullanılan diğer materyaller) yüzeyinden ısıyor. Bu nedenle annülüs iç duvarında sıcaklık iç karışıma göre daha çabuk artmaya başlar. Biz araştırmış bölgeler içerisinde bu en yüksek sıcaklığa sahip bölgedir. 185 °C için annülüs iç bölgesindeki sıcaklık değerleri deneysel ve sayısal olarak tablo 3.12 'de verilmiştir.

Tablo 3.12 185 °C annülüs iç duvar (r = 4 cm; h = 1,5 cm) bölgesindeki deneysel ile sayısal sıcaklık değerlerin karşılaştırılması

t, dakika	0	10	20	30	40
T _{deneysel} °C	25,7	130,7	144,4	152,5	162,1
T _{sayısal} °C	25,7	79,8	118,3	127,4	132,3

Ringcakebaking. f90 bilgisayar programında annülüs iç duvar için alınan değerlerin karşılaştırılmasını gösteren şekil aşağıda verilmiştir. Elde edilen sayısal değerler deneysel değerlere göre daha düşüktür, ama profiller çok biri birine çok benziyor. Değerlerin düşük olması kurduğumuz model için iyi uyumlu ısı transfer katsayısına bağlı diye düşünüyoruz. Optimum ısı transfer katsayısı bulmak amacıyla Ringcakebaking. f90 programı bir kaç kez çalıştırılmıştır.

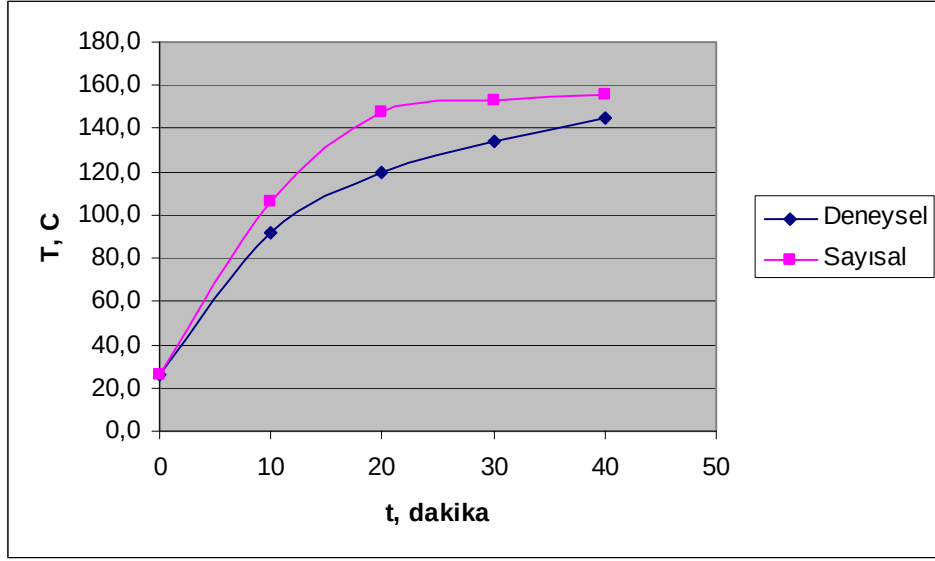
Şekil 3.14 185 °C annülüs iç duvardaki sıcaklıkların deneysel değerler ile karşılaştırılma grafiği



Tablo 3.13 185 °C alt tabaka (r = 8; h = 0) bölgesinde alınan sayısal sıcaklık değerler ile deneysel değerlerin karşılaştırılması

t, dakika	0	10	20	30	40
T _{deneysel} °C	25,7	91,4	120,0	134,3	144,7
T _{sayısal} °C	25,7	106,5	147,4	153,1	155,6

Şekil 3.15 185 °C alt tabaka sıcaklıklarının deneysel değerler ile karşılaştırılması



4. SONUÇ

Halka kek pişirilmesinin bir eşzamanlı ısı ve kütle transferi işlemi olarak sayısal yöntemlerle incelendi. Elde edilen sayısal sonuçlar Sakin (2010) 'un deneysel sonuçlarıyla karşılaştırıldı.

Bitirme tez amacı eşzamanlı ısı ve kütle transferi simule eden bir bilgisayar programının Fortran bilgisayar dilinde elde etmektir. İşlem sırasında gerçekleşen ısı ve kütle transfer mekanizmaları, sıcaklık ve nem profillerinin çözümü Fourier ve Fick denklemlerinin çözümünde uygun diye bulunan sınır koşullar şartlarıyla çalışan bir model elde edilmiştir. Bilgisayar programı ile elde edilen sonuçlar belirli durumlarda analitik olarak çözülerek, Sakin (2010)'un basılmamış araştırma sonuçları ile karşılaştırılmış ve doğrulanmıştır.

Materiyal olarak Prof. Dr. Coşkan ILICALI (2010) Fortran bilgisayar dilindeki programları temel alınmıştır. Bu Fortran programlar Sakin (2005) tarafından kap kek için yazılan Basic bilgisayar dilindeki programdan uyarlanmıştır. Pan.for Fortran bilgisayar dil programı tez için temel olarak alınmıştır. Bu programı şartlarına uygun olarak modifiye ederek halka kek kek türü için uygulamaya çalışılmıştır. Önce alınan programı ısı ve kütle transferi açısından sonsuz levha ve sonsuz silindir geometrileri için tek tek kontrol yaparak programın düzgün ve doğru sonuçları verdiği kontrol edilmiştir. Doğru sonuçların elde edilmesi programın uygun olduğunu ve sonraki işlemler için kullanılabileceğini göstermiştir. İki geometri için 4 çeşitli isimdeki (kodlardaki) 1) chti, 2) chtic, 3) cmtiw, 4) cmtic kontrol programlar elde edilmiştir. Bu kontrol bilgisayar programından elde edilen sonuçlar analitik sonuçlarla karşılaştırıldı. Sonuçlar çok iyi uyumluluğu gösterdi. Sonra kontroldon geçen programızı bir 'Halka kek' kek türü için bir matematiksel model oluşturarak çalıştırmak ve oluşturulan modelin öngörülerinin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması ve analiz edilmesi yapılmıştır.

Fırında kek pişirme işlemini, sonsuz levha ve sonsuz silindir geometrilerinde eşzamanlı ısı ve kütle transferi olarak temsil eden matematik modelin sayısal çözümü fırın sıcaklığı, ısı transfer katsayısı, ürünün başlangıç ve son kalınlığı, kütle transfer katsayısı gibi değişkenlerin farklı değerlerinde çalıştırılmış ve bu değişkenlerdeki sıcaklık ve nem profilleri hesaplanmıştır. Ayrıca sonsuz silindir için kütle transfer değerleri

ürünün belirli pozisyonları (alt yüzey ve üst yüzey, iç bölge) için de nem profilleri belirlenmiştir.

Deneysel ve sayısal sıcaklık ve nem profilleri yüksek uyumluluğu göstermiştir. Tablo 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6 ve şekil 2.5, 2.6, 2.7, 2.8 ‘den görüldüğü gibi kontrol programlardaki sonsuz levha ve sonsuz silindir için hem sıcaklık hem de nem profilleri doğru sonuçları gösterdi ve deneysel sonuçlarla uyumlu çıktı yani her iki geometri, sonsuz levha ve sonsuz silindir için analitik ve sayısal arasındaki sıcaklık ve nem profillerinin sağlandığını söyleyebiliriz.

Halka kek pişirilmesinin ısı ve kütle transferi simule eden yeni Fortran 95 bilgisayar dilinde HALKAKEK.F95 programı elde edildi. Program hem kütle hem de ısı transfer açısından kontrol edilmiştir. Kütle transfer açısından Halkakek. F95 program sonuçları Sakin (2010) basılmamış araştırma sonuçları ile çok uyumlu sağlamıştır. Isı transfer açısından alt yüzey, iç karışım ve annülüs iç duvar yüzeyleri için elde edilen sıcaklık profilleri ile sayısal değerler arasında biraz fark görünmüştür. Böyle bir fark ısı transfer katsayısına bağlı diye düşünülmektedir. Genel olarak Halkakek.f95 program sonuçları deneysel sonuçlar ile iyi uyumluluğu gösterdi. Bitirme tezinin amacına ulaştığı söylenebilir. Bu çalışmanın sonuçları, endüstride üretim esnasında iş gücü ve enerji tasarrufu, işlem optimizasyonu, tasarım açılarından yararlı bulunacağı düşünülmektedir. Bu konuda daha ileri çalışmalar yürütülerek endüstri için en uygun çalışma parametrelerinin bulmak gelecek amacımızdır.

5. DEĞERLENDİRME ve ÖNERİLER

Yapılan araştırmalardan sonra çok enerji tüketen fırında pişirme işlemdeki optimum şartları bulmak için aşağıdaki önerileri çıkarabiliriz.

- Kek ürünlerinin pişme süresindeki gerçekleşen bütün prosesleri oldukça iyi bir araştırmak, onların arasındaki bağlantıları ve çalışma mekanizmaları açıklayarak bir bütün sistem kurmak gerekir.
- Kırgızistan'da fırın üretimi genel analiz yaparak günümüzdeki bu alandaki problemleri sanayiciler ile ortak çözmek için görüşmeler, seminerler ve işbirliği yapılmalıdır.
- Kırgızistan'daki fırın ürünlerin üretiminde bulunan üreticilere bilgisayar programlı kontrol sistemler üzerinde bilgi vermek, onlarla bu bilgiyi paylaşarak bilgisayar kontrol sistemlerin uygulanmasına yol açmak gerekir.
- Elimizde bulunan bilgisayar programları başka fırın ürünlerinin üretiminde kullanılmasına yol açmak, bu konuda daha ileri araştırmaları yapmak gerekir.
- Bilgisayar programlarının duyarlılığını yükseltmek amacıyla onları modifiye etmek gereklidir.
- Fırın ürünlerinin üretiminde optimum şartları bulmaya çalışmak ve enerji tüketimi azaltmak için bulunan yöntemleri modifiye etmek ve yeni yöntemleri tayin etmek gerekmektedir.
- Daha uyumlu D_{eff} , k_c , λ katsayıları bularak bilgisayar programlarının duyarlılığı yükseltilmelidir.

6. ÖZET

Bitirme Tez amacım Halka kek pişirilmesinin ısı ve kütle transferi olarak matematiksel modellenmesidir, yani fırın ürünlerinin üretimindeki en önemli olan pişirme prosesindeki ısı ve kütle transfer olaylarını matematiksel (sayısal) olarak açıklamaya çalışmak ve bu prosesi simüle eden uygun bir matematiksel model geliştirmektir (modifiye etmek). İyi bir mühendis veya gıdacı deneme yanılma yoluyla küçük miktardaki bir ürün için uygun pişirme koşullarını belirleyebilir. Ancak endüstriyel boyutta böyle bir yöntem ne kadar enerji, iş gücü ve optimum şartları gerekliliğini belirleyemez. Endüstri üretiminde üretim zaman, enerji ve işgücü kayıplarını en aza indirerek optimum şartlarda çalışmak en önemli hedeftir. Yüksek enerji tüketimi olan fırında pişirme işlemi; yüksek kapasiteli üretim sırasında, hatalı ürün riskine girmeden yapılmalıdır. Bu amacı yapabilmek için bir bilgisayar programı gerekmektedir. Böyle bir programı yazmadan önce pişirme süresindeki gerçekleşen bütün prosesleri açıklayan bir matematiksel modelleme yapılmalıdır. Matematiksel Modelleme ürün ile fırın arasında gerçekleşen prosesleri açıklayan, matematiksel kanunlara dayanıklı bir matematiksel açıklamadır. Materyal olarak bu konuda uzak yıllar boyunca toplanan kaynaklardan Prof. Dr. Coşkan ILICALI hocamızın doktora öğrencisi Melike SAKİN tarafından elde edilen kap kek için yazılan Basic bilgisayar dilindeki programı aldık. Bu programı kendi şartlarıma uygun olarak modifiye ederek halka kek diye adlanan kek türü için uyguladık. Önce alınan programı Isı ve Kütle transferi sonsuz levha ve sobsuz silindir geometrileri için bilgisayar programda tek tek kontrol yaparak programın düzgün ve doğru sonuçları vereceğini kontrol ettik. Doğru sonuçlara ulaşmayı birden bir amaç olarak amaçlamıştım. İki geometri için 4 çeşitli isimdeki (kodlardaki) 1) chtiw, 2) chtic, 3) cmtiw, 4) cmtic kontrol programlar elde edildi. Sonra kontroldon geçen programızı bir ‘Halka kek’ kek türü için bir matematiksel model oluşturarak çalıştırmak ve oluşturulan modelin öngörülerinin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması ve analiz edilmesi yapıldı. Bu çalışmanın sonuçları, endüstride üretim esnasında iş gücü ve enerji tasarrufu, işlem optimizasyonu, tasarım açılarından yararlı bulunacağı düşünülmektedir.

7. KAYNAKLAR

1. Sakin, M. 2005. Fırında Kek Pişirme İşleminin Eşzamanlı Isı ve Kütle Transferi Olarak Modellenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Bornova, İzmir.
2. Coşkan Ilıcalı, Ko Suey Lee, Melike Sakin, Figen Kaymak-Ertekin, Prediction of Moisture Profiles Pancake Baking in a Convection Oven by a Numerical Model. University Putra Malaysia, Faculty of Engineering, Ege University, İzmir, Turkey.
3. Baik, O., Sablani, S., Marcotte, M., Castaigne, F. 2006. Modeling the thermal properties of a cup cake during baking. *Journal of Food Science*, 64 (2), 295-299.
4. Sakin, M., Kaymak-Ertekin, F., and Ilıcalı, C., 2003. A numerical model for cake baking. In *Proceedings of the First International Energy and Environmental Symposium*, IEEEES'03 (p.43). Izmir, Turkey.
5. Coşkan Ilıcalı, Melike Sakin, Figen Kaymak-Ertekin, 2007. A Simplified Numerical Model for Predicting the Temperature and Moisture Content Histories During Cup Cake Baking in a Convective Oven, World Engineering Congress, Penang, Malaysia.
6. Coşkan Ilıcalı, Melike Sakin, Figen Kaymak-Ertekin, 2007. Modelling the moisture transfer during backing of white cake. *Journal of Food Engineering* 80, 822-831.
7. Пашенко Л.П., 2002. Биотехнологические основы производства хлебобулочных изделий.-М.: Колос,
8. Zaroni, B., Pierucci, S. and Peri, C., 1994. Study of the bread baking process. II: Mathematical modeling, *Journal of Food Engineering*, 23,321-336.
9. Frank P. Incropera, David P. Dewitt. 1996. Isı ve Kütle Geşinin Temelleri, Purdue Üniversitesi, School of Mechanical Engineering.
10. Sakin, M., Kaymak-Ertekin, F., and Ilıcalı, C., 2004. A numerical model for cup cake baking. In *Proceedings of the Ninth International Congress on Engineering and Food*, ICEF9. Montpellier, France.
11. Prof. Dr. Elgün E. 2000.Tahil İşleme Teknolojisi, Türkiye.

12. Geankoplis, C. J., 1993. Transport Processes and Unit Operations, 3rd Edition, Prentice Hall International, Inc., New Jersey, 921p.
13. Thorvaldsson, K. and Skjöldebrand, C, 1998. Water diffusion in bread during baking, *Lebensmittel Wiss. u. Technol.*, 31, 658-663.
14. Хромеев В.М., 2003. Технологическое оборудование хлебозаводов и макаронных фабрик.-СПб.:ГИОРД.
15. Thorvaldsson, K., Janestad, H., 1999. A model for simultaneous heat, water and vapor diffusion, *Journal of Food Engineering*, 40, 167-172.
16. Zanoni, B., Peri, C., Gianotti, R., 1995. Determination of the thermal diffusivity of bread as a function of porosity, *Journal of Food Engineering*, 26, 497-510.
17. Zanoni, B., Peri, C., Pierucci, S., 1993. A study of the bread baking process. I: A phenomenological model, *Journal of Food Engineering*, 19, 389-398.
18. Zanoni, B., Pierucci, S. and Peri, C., 1994. Study of the bread baking process. II: Mathematical modeling, *Journal of Food Engineering*, 23, 321-336.
19. Fethi Halıcı, Mehmet Gündüz, Örneklerle Isı Geçişi, II Basım, Şubat 2001, Sakarya.
20. Broyart, B., Trystram, G., 2002. Modelling heat and mass transfer during the continuous baking of biscuit. *Journal of Food Engineering*, 51, 47-57.
21. Figen Tırnaksız, 2010. Difüzyon, Türkiye.
22. www. Radioradar.net
23. e-automation.ru
24. Coşkan Ilıcalı, Melike Sakin, Figen Kaymak-Ertekin, 2007, Simultaneous Heat and Mass Transfer Simulation applied to Convective Oven Cup Cake Baking, *Journal of Food Engineering* 83 (2007), 463-474.
25. sib-stroi.ru
26. Melike Sakin, Figen Kaymak-Ertekin, Coşkan Ilıcalı, 2009, Convection and radiation combined surface heat transfer coefficient in backing ovens. *Journal of Food Engineering* 94, 344-349.
27. sensors.com.ua
28. www. Home.agilent.com

29. Лурье И.С., Шаров А.И., 2001. Технохимический контроль сырья в кондитерском производстве.-М.:Колос.
30. sea.com
31. labomar.net
32. Тамабаева Б.С., Кыдыралиев Н.А., 2005. Методы исследования свойств сырья и готовой продукции.-Б.:ЧП «Абыкеев А.Э.».
33. Кавецкий Г.Д., Воробьева А.В., 2005. Технологические процессы и производства (пищевая промышленность).-М.:КолосС.
34. Фараджеева Е.Д., Федоров В.А., 2002. Общая технология броидильных производств.-М.: Колос.
35. Антипов С.Т., Кретов И.Т., Остриков А.Н., Панфилов В.А., Ураков О.А., 2001. Машины и аппараты пищевых производств. В 2 кн. 2- М.
36. Фурс И.Н., 2002. Технология производства продукции общественного питания: Учебное пособие-Мн.
37. picotech.com
38. Пашенко Л.П., Жаркова И.М., 2006. Технология хлебобулочных изделий.- М.:КолосС.
39. Драгилев А.И., Лурье И.С., 2003. Технология кондитерских изделий.- М.:ДеЛипринт.
40. termoavtomatika. ru
41. Мазепа Е.В., 2002. Практикум для кондитера: Учебное пособие.-Ростов на-Дону:Феникс.
42. Хромеев В.М., 2000. Оборудование хлебопекарного производства.-М.: ИРПО:Издательский центр «Академия».
43. Кузнецова Л.С., 2006. Технология приготовления мучных кондитерских изделий: учебное пособие для студентов учреждений среднего профессионального образования / Л.С. Кузнецова, М.Ю. Сиданова. – 2-е изд., -М.: Издательский центр «Академия».
44. elektrovadi.com
45. Кузнецова Л.С., 2002. Технология приготовления мучных кондитерских изделий: учебное пособие для студентов учреждений среднего

- профессионального образования / Л.С. Кузнецова, М.Ю. Сиданова. – 2-е изд., -М.: Мастерство.
46. Апет Т.К., 2002. Технология производства мучных кондитерских изделий: Учебное пособие / Т.К. Апет, З.Н. Пашук-Мн.: Выш. Шк.
47. <http://www.vanmeer-russia.com/keks.html>
48. В. В. Гущин, В.А. Гуреев, 2009. Исполнительное производство, Издат-во: Эксмо, Москва.

8. EKLER

EKLER DİZİNİ

Ek 1 İmplicit Alternating Direction Yöntemi

Ek 2 Kararsız Hal Fourier Denkleminin Analitik Çözümü

Ek 3 Kararsız Hal Fick Denkleminin Analitik Çözümü

Ek 4 Kararlı Hal İki Boyutlu Isı İletimi

Ek 5 İki Boyutlu Isı ve Kütle Transfer Matematiksel Model Sayısal Çözüm Bilgisayar Programı

	Şekil	Sayfa
E 3.1	Silindirik geometride kafes sistemi	58
E 3.2	Tridiagonal matris sistemi ($t = t + \Delta t/2$ zamanı için)	59
E 3.3	Tridiagonal matris sistemi ($t = t + \Delta t/2$ zamanı için)	60
E 3.4	Sonlu farklar kafes sistemi ve düğüm noktalar	69

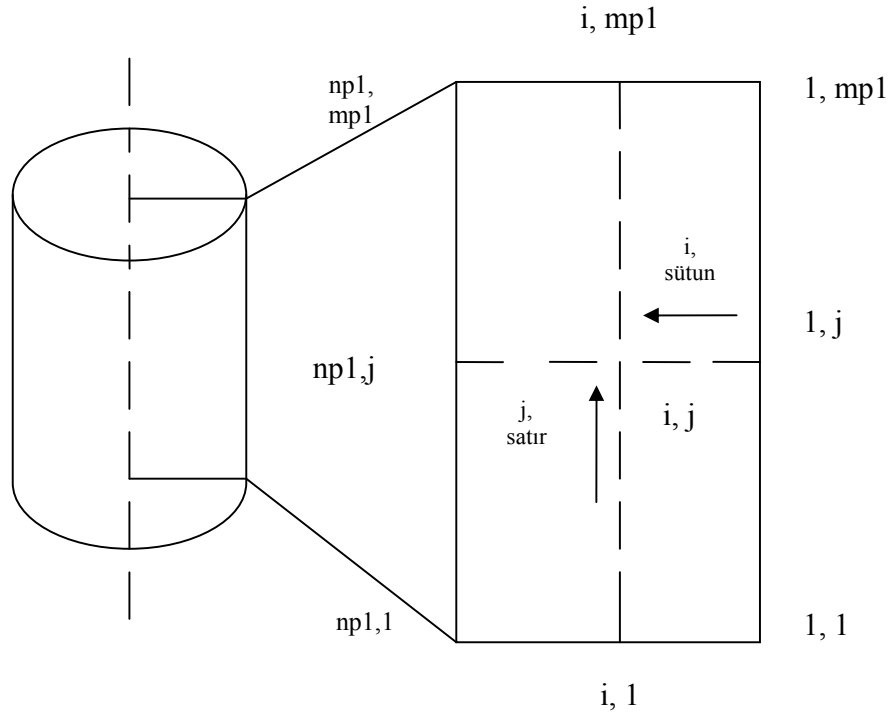
Ek 1 “IMPLICIT ALTERNATING DIRECTION” YÖNTEMİ [1]

Bu yöntem, iki boyutlu iletim problemlerinde Θ 'yı z ve r pozisyonlarına ve zamana bağlı tanımlayan kısmi diferansiyel denklemin (denklem 119) sayısal çözümünü sağlar.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \cdot \left[\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \quad (119)$$

Genel sonlu farklar yaklaşımı ile silindirik cisim, yarıçap doğrultusunda Δr kalınlığında N adet halkasal bölgeye, z doğrultusunda Δz kalınlığında M adet tabakaya ayrılır. i yarıçap doğrultusunu; j z doğrultusunu; $i = 1$ silindirin yan yüzeyini; $i = NP1(N+1)$ silindirin merkez eksenini; $j=1$ alt yüzeyi; $j = MP1(M+1)$ üst yüzeyi göstermektedir. Şekil E 3.1’de sonlu silindir geometrisine sahip cismin boyuna kesiti kafes sistemine bölünmüş halde gösterilmektedir.

Şekil E 3.1 Silindirik geometride kafes sistemi



Kısmi türevlerin eksplisit sonlu farklar yöntemiyle açılımı, çözümde stabilite sağlanması için zaman ve pozisyon dilimleri seçimine kısıtlama getirir. İmplicit yöntemde böyle bir sınırlama yok iken, 2 boyutlu iletim problemlerinde, ancak, 1 denklemde 5 bilinmeyen olacak şekilde yazılabilir. Böyle bir denklem sisteminin matris çözümü Gauss Eliminasyon metoduyla mümkün olsa da aşırı hesap yükü getireceğinden alternatif bir yöntem aranır. İmplicit A.D. yöntemi, bu olumsuzlukların üstesinden gelir.

IAD yönteminin prensibi şöyledir. Θ profilinin ardıl olarak hesaplanacağı Δt zaman dilimi ikiye bölünür. Denklem (119)'daki kısmi türevler, yarı zaman diliminde z yönünde implicit, r yönünde eksplisit; tam zaman diliminde ise z yönünde eksplisit, r yönünde implicit yazılarak sonlu farklara dönüştürülür. Sırasıyla, denklem (120) ve (121)'de bu dönüşüm gösterilmiştir. I ve J sırasıyla, r ve z yönündeki, Δr ve Δz aralıklarına sahip ara bölgelerin köşe noktalarını göstermektedir.

$$\frac{T_{I,J}^i - T_{I,J}}{\Delta t / 2} = \alpha \left(\frac{1}{2(N-1+I)\Delta r^2} (T_{I-1,J} - T_{I+1,J}) + \frac{(T_{I-1,J} + 2T_{I,J} + T_{I+1,J})}{\Delta r^2} + \frac{(T_{I+1,J}^i - 2T_{I,J}^i + T_{I,J-1}^i)}{\Delta z^2} \right) \quad (120)$$

$$\frac{T_{I,J}^i - T_{I,J}^*}{\Delta t / 2} = \alpha \left[\frac{1}{2(N-1+I)\Delta r^2} (T_{I-1,J}^i - T_{I+1,J}^i) + \frac{T_{I,J-1}^* - 2T_{I,J}^* + T_{I,J+1}^*}{\Delta z^2} + \frac{T_{I-1,J}^i - 2T_{I,J}^i + T_{I+1,J}^i}{\Delta r^2} \right] \quad (121)$$

Yarı zaman diliminde denklem a'nın i.sütun için $j=1, 2, \dots, M+1$ 'de uygulanmasıyla, aşağıdaki tridiagonal sistem elde edilir (Şekil E3.2). Bu denklem sisteminin Gauss Eliminasyon yöntemi ile çözümü, i.sütunda $\Theta^*_{i,j}$ değerlerini verir. (Carnahan et al.,1969). Tüm i'lerde aynı işlem ile tüm kesitte $t=t+\Delta t/2$ zamanında, Θ^* profili elde edilir.

Şekil E 3.2 Tridiagonal matris sistemi ($t = t + \Delta t/2$ zamanı için)

$$\begin{bmatrix} A_{i,1} & B_{i,1} & C_{i,1} & & & \\ & & & \dots & \dots & \dots \\ & & & & A_{i,j} & B_{i,j} & C_{i,j} \\ & & & & & \dots & \dots \\ & & & & & & A_{i,mp1} & B_{i,mp1} & C_{i,mp1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Theta^*_{i,1} \\ \dots \\ \Theta^*_{i,j} \\ \dots \\ \Theta^*_{i,mp1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{i,1} \\ \dots \\ d_{i,j} \\ \dots \\ d_{i,mp1} \end{bmatrix}$$

Tam zaman diliminde denklem b'nın j. satır için $i = 1, 2, \dots, N+1$ de uygulanmasıyla yine bir tridiagonal system elde edilir (Şekil E3.3). Bu sırada T_{ij}^* ler bilinenler matrisinde yer alır. Matris sistemin aynı yöntemle çözümü, j. satırda T_{ij}^1 değerlerini verir. Tüm j'lerde aynı işlemle tüm kesitte, $t = t + \Delta t$ zamanında T_{ij}^1 profili elde edilir.

Şekil E 3.3 Tridiagonal matris sistemi ($t = t + \Delta t/2$ zamanı için)

$$\begin{bmatrix} A_{1,j} & B_{1,j} & C_{1,j} & & & \\ & & \dots & \dots & \dots & \\ & & & A_{i,j} & B_{i,j} & C_{i,j} \\ & & & & \dots & \dots \\ & & & & & A_{np1,j} & B_{np1,j} & C_{np1,j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Theta'_{1,j} \\ \dots \\ \Theta'_{i,j} \\ \dots \\ \Theta'_{np1,j} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{1,j} \\ \dots \\ d_{i,j} \\ \dots \\ d_{np1,j} \end{bmatrix}$$

Hesaplanan T_{ij}^1 degerleri yeni zaman dilimi için T degerlerini belirlemek için kullanılır. Böylece bu işlemler tekrartlanır ve yeni profil degerleri elde edilir.

Ek 2

KARARSIZ HAL FOURIER DENKLEMİNİN ANALİTİK ÇÖZÜMÜ

Bir cisim içinde sıcaklık basamağı meydana geldiğinde, yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa kadar doğru enerji akışı meydana gelir. Bu cisim katı, sıvı ve gaz olabilir. Sıvı ve gazlarda sıcaklık farkından dolayı, ısı enerjisinin geçmesi ısı iletimi ile gerçekleşmektedir. İletimle geçen ısı enerjisini ilk ifade eden **J. B. Fourier** Fransız bilim adamı tarafından 1822’de ilk olarak bulunduğu için bu ifadeye **Fourier ısı iletim kanunu** denir. Bu kanuna göre birim alandan iletim ile geçen ısı miktarı, ısının geçiş yönündeki sıcaklık gradyanıyla orantılıdır.

$$\frac{Q_x}{A} = \alpha \frac{\partial T}{\partial x} \quad \text{olur.}$$

Orantı sabiti konulduğunda, $Q_x = -kA \frac{\partial T}{\partial x}$ bağıntısı elde edilir. Burada,

Q_x – birim zamanında geçen ısı miktarı, (W)

A – ısı geçişi yönündeki yüzey alanı, (m^2)

k – Malzemenin ısı iletim katsayısı, (W/m^2K)

$\frac{\partial T}{\partial x}$ - sıcaklık gradyanı, (K/m)

Fourier denklemi katı, homojen madde için ısı iletimini genel haliyle

$$\rho \cdot Cp \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(k \nabla T) \quad \text{yazabiliriz.}$$

Çoğunlukta gıda maddeleri homojen olmuyor ama bu denklemi gıdaların ısısal davranışların belirlemede kullanabiliriz.

E1.1 Sonsuz Levha Geometrisi.

Sonsuz levha geometrileri için Fourier denklemi z yönünde tek yöndeki ısı iletimi şöyle yazılır.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \left[\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \quad (69)$$

Sıcaklık dağılımı, üst ve alt yüzeylerde konvektif ısı aktarımı, merkezde simetrik sıcaklık dağılımını kabul ederek, başlangıç ve sınır şartları aşağıdaki gibi tanımlarız.

B.Ş. $T=0$, $T=T_{ilk}$, tüm z pozisyonunda

$$\text{S.Ş.1. } t > 0, \quad k \frac{\partial T}{\partial z} = h_c \cdot (T_a - T_{yuzey}) \quad z = 0, H/2 \text{ kadar}$$

$$\text{S.Ş.2. } t < 0, \quad \frac{\partial T}{\partial z} = 0, \quad z = 0, H/2$$

Boyutsuz sıcaklık Y , boyutsuz zaman τ , boyutsuz pozisyon x , Biot sayısı.

$$Y = \frac{T - T_a}{T_i - T_a}, \quad \tau_z = \frac{\alpha \cdot t}{(H/2)^2}, \quad x = \frac{z - (H/2)}{H/2}, \quad Bi = \frac{h_c \cdot (H/2)}{k} \quad (71)$$

Burada T , sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), T_{ilk} başlangıç sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), T_a ortam sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), z yükseklik (m), H , cismin toplam kalınlığı (m), h_c konvektif ısı transfer katsayısı ($\text{W/m}^2\text{K}$), k , ısı iletim katsayısı (W/mK), α , ısı difüzyon katsayısı (m^2/s), t , zaman (saniye).

E.1.2 Sonsuz Silindir Geometrisi

Sonsuz silindir geometrisinde sadece yarıçap yönünde ısı iletimi kabul ederek (diğer yönlerde ısı iletimi ihmal edilirse), sabit fiziksel özelliklerle, Fourier denklemi bu şekilde yazılır.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \cdot \left[\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right] \quad (80)$$

Sonsuz levha için belirlediğimiz sınır şartları sonsuz silindir geometrisi için de yazarız.

B.K. $t = 0$ iken $T = T_{ilk}$ tüm r 'lerde

$$\text{S.Ş.1. } t > 0 \text{ iken} \quad -k \frac{\partial T}{\partial r} = h_c \cdot (T_a - T_{yuzey}) \quad r = R \quad (81)$$

$$\text{S.Ş.2. } t < 0 \text{ iken} \quad \frac{\partial T}{\partial r} = 0, \quad r = 0$$

Burada R , yarıçap (m)'dir. Değişkenler için boyutsuz gruplar tanımlanırsa

$$Y_r = \frac{T - T_{\infty}}{T_{ilk} - T_{\infty}}, \quad \tau_r = \frac{\alpha \cdot t}{R^2}, \quad n_r = \frac{r}{R} \quad (82)$$

Ek 3 KARARSIZ HAL FICK DENKLEMİNİN ANALİTİK ÇÖZÜMÜ

Yayılma olan ısı ve kütle transferlerinde aynı fiziksel mekanizmalar etkili olduğundan, bunlara ilgili denklemler de aynı biçimlerde verilebilir. Kütle yayılımı (transferi) için bu bakımdan uygun denklem, Fick denklemi olarak bilinir. Fick'in 2. kanuna göre derişim ve akı, hem zaman hem de mesafeye bağlıdır. Kısaca derişim ve akı zamanın ve mesafenin fonksiyonudur. Fick'in 2. kanunu olarak bilinen eşitlik şöyle yazılır.

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{gor} \cdot \frac{\partial^2 X}{\partial z^2} \quad (97)$$

Burada X, derişim (ürün nem içeriği) (kg su/kg kurumadde), $D_{gör}$ görünür difüvizite katsayısı (m^2/s), t, zaman (saniye), z, mesafe (pozisyon), (m)'dir.

E2.1 Sonsuz Levha Geometrisi

Sonsuz levha için kararsız hal şartlarında kütle transferini tanımlayan Fick'in 2. kanunu, sabit fiziksel özelliklerde, aşağıdaki gibi yazılır.

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{gor} \cdot \frac{\partial^2 X}{\partial z^2} \quad (98)$$

Fourier Denklemimim analitik çözümünde belirtilen başlangıç ve sınır şartları burada da uygularsak, sınır şartlar aşağıdaki gibi yazılır.

B.Ş. $t = 0$ iken $X = X_{ilk}$ tüm z' lerde

$$S.Ş.1. t > 0 \text{ iken } -D_{gor} \cdot \frac{\partial X}{\partial t} = k_c \cdot (X_{yuzey} - X_{\infty}), z = H/2 \quad (99)$$

$$S.Ş.2. t < 0 \text{ iken } \frac{\partial X}{\partial z} = 0, z = 0$$

Boyutsuz nem X, boyutsuz grupların tanımlanması ve değişkenlerin ayırma tekniğine göre aşağıdaki gibi elde edikler. (Crank, 1975).

$$X_z = \frac{X - X_{\infty}}{X_{ilk} - X_{\infty}} = \sum_{i=1}^{\infty} A_i^z \cdot \exp\left(-\lambda_i^2 \cdot \frac{D_{gor} \cdot t}{H^2}\right) \cdot \cos\left(\lambda_i \cdot \frac{z}{H}\right) \quad (100)$$

Tabandaki nem, $X_z, z = 0$ ' da, simetri ekseninde $\cos(0) = 1$ olduğundan aşağıdaki formül ile çözülür.

$$X_z = \frac{X - X_\infty}{X_{ilk} - X_\infty} = \sum_{i=1}^{\infty} A_z^i \cdot \exp\left(-\lambda_i^2 \cdot \frac{D_{gor} \cdot t}{H^2}\right) \quad (101)$$

Ortalama boyutsuz nem, X_z denklem (102) den hesaplanır.

$$X_z = \frac{X - X_\infty}{X_{ilk} - X_\infty} = \sum_{i=1}^{\infty} A_z^i \cdot \exp\left(-\lambda_i^2 \cdot \frac{D_{gor} \cdot t}{H^2}\right) \cdot \sin(\lambda_i) \quad (102)$$

λ_i 'nin karakteristik kökleri $\lambda_i = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \dots$ 'dir. Bu kökleri kullanarak denklem (102) düzenlenirse denklem (103) elde edilir.

$$\overline{X}_z = \frac{\overline{X}_z - X_\infty}{X_{ilk} - X_\infty} = \frac{8}{\pi} \cdot \exp\left(-\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \cdot \frac{D_{gor} \cdot t}{H^2}\right) \quad (103)$$

Burada, X , nem konsantrasyonu (kg su/kg kurumadde), X_{ilk} , başlangıçtaki nem konsantrasyonu (kg su/kg kurumadde), X_∞ , ürün ile fırın ortamındaki denge nem konsantrasyonu (kg su/kg kurumadde), $D_{gör}$, görünür difüzivite katsayısı (m^2/s), t , zaman (s), H , ürün kalınlığı (yüksekliği), (m)'dir.

E2.2 Sonsuz Silindir Geometrisi

Sonsuz silindir için yarıçap doğrultusunda tek yönlü nem transferi Fick'in 2. kanunu ile aşağıdaki gibi yazılır.

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \alpha \cdot \left(\frac{\partial^2 X}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial X}{\partial r} \right) \quad (104)$$

Sonsuz silindir için başlangıç ve sınır şartlarını aşağıdaki gibi yazılır.

B.K. $t = 0$ iken $X = X_{ilk}$, tüm r 'lerde

$$\text{S.Ş.1. } t > 0 \text{ iken} \quad -D_{gor} \cdot \frac{\partial X}{\partial t} = k_c \cdot (X_{yuzey} - X_\infty), r = R \quad (105)$$

$$\text{S.Ş.2. } t > 0 \text{ iken} \quad \frac{\partial X}{\partial r} = 0, r = 0$$

Boyutsuz grupların tanımlanması ve değişkenlerin ayırma tekniğinin uygulanmasıyla karakteristik kökler ve boyutsuz nem X , aşağıdaki gibi elde edilir.

$$X_r = \sum_{i=1}^{\infty} A_r^i \cdot J_0 \cdot \left(\beta_i \cdot \frac{r}{R} \right) \cdot \exp\left(-\beta_i^2 \cdot \frac{D_{gor} \cdot t}{R^2}\right) \quad (106)$$

Merkez eksen $r = 0$ da $J_0 = (r/R) = 1$ 'dir. Boyutsuz nem konsantrasyonu X_0 , sonsuz silindirin merkezinde aşağıdaki formülle bulunur.

$$X_r = \sum_{i=1}^{\infty} A_r^i \cdot \exp\left(-\beta_i^2 \cdot \frac{D_{gor} \cdot t}{R^2}\right) \quad (107)$$

Nem transferine yüzey direncinin ihmal edildiği durumda, ($Bi = \infty$ ise) $J_0(\beta_i) = 0$. O zaman $\beta_1 = 1.4048$, $\beta_2 = 5.5201$, $\beta_3 = 8.6537$, $\beta_4 = 11.7915$,'dir.

Bizim için ilk terim önemli olduğundan, ortalama boyutsuz nem konsantrasyonu aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$\overline{X_r} = \frac{X_r - X_{\infty}}{X_{ilk} - X_{\infty}} = \frac{4}{\beta_1^2} \cdot \exp\left(-\beta_1^2 \cdot \frac{D_{gor} \cdot t}{R^2}\right) \quad (108)$$

Burada, X_r , ürünün nem konsantrasyonu (kg su/ kg kurumadde), X_{∞} , ürün ile fırınortamı arasındaki nem konsantrasyonu (kg su/ kg kurumadde), X_{ilk} , başlangıç nem konsantrasyonu (kg su/ kg kurumadde), $D_{gör}$, görünür difüzivite (m^2/s), t , zama (s), R , yarıçap (m)'dir.

Ek 4 KARARLI HAL İKİ BOYUTLU ISI İLETİMİ

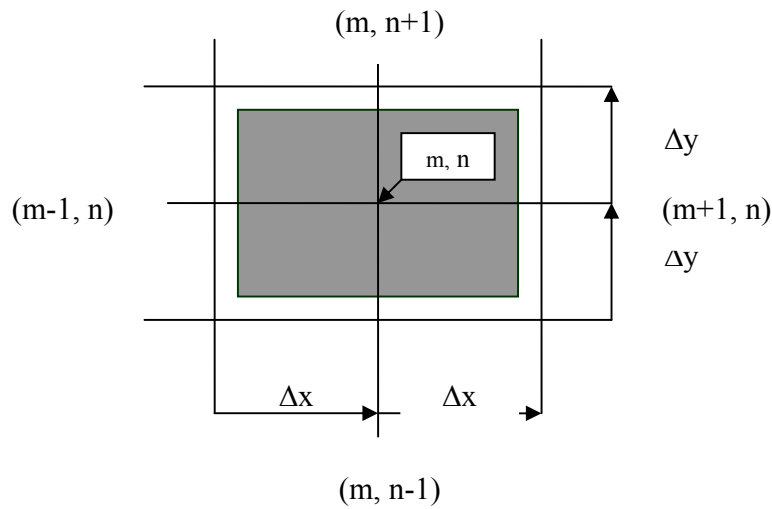
Bilindiği gibi bir matematik problemin genel olarak hem analitik hem de sayısal (numerik) çözümü vardır. Kısmi diferansiyel denklemleri daha rahat çözebilmek için sayısal çözüm yöntemleri kullanılır. Bu sayısal çözüm yöntemlerin biri de **sonlu farklar** yöntemidir. Katı cisimlerdeki sıcaklık dağılımının sayısal olarak hesaplanabilmesi için sıcaklık bilinmeyen her nokta için türevin tanımaından hareketle bir denklem yazılması gerekir. Elde edilen bu lineer denklem sistemi, bilinen yöntemlerden herhangi biriyle çözümlenerek sonuca gidilir.

Fiziksel özelliklerin sabit olduğu iki boyutlu sistem için ısı iletimini ifade eden diferansiyel denklem şöyle yazılır.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (109)$$

Bu denklemden iki boyutlu system için sonlu farklar biçimi çıkarılabilir. Şekil 3.2’ de elde edilen kafes sistemi «x» yönünde Δx artırımlarının «m», «y» yönündeki Δy artırımlarının sayısı da «n» ile gösterilmektedir. $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$ türevini alırsak .

Şekil 3.4 Sonlu farklar kafes sistemi ve düğüm noktalar



$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}_{m,n} = \frac{(\partial T / \partial x)_{m+1/2,n} - (\partial T / \partial x)_{m-1/2,n}}{\Delta x} \quad (110)$$

İleri sonlu fark ve geri sonlu fark sırasıyla (110) denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{m+1/2,n} &= \frac{T_{m+1,n} - T_{m,n}}{\Delta x} \\ \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{m-1/2,n} &= \frac{T_{m,n} - T_{m-1,n}}{\Delta x} \\ \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right)_{m,n} &= \frac{T_{m+1,n} - T_{m-1,n} - 2T_{m,n}}{\Delta x^2} \end{aligned} \quad (111)$$

Benzer işlemler y yönü için de yapılırsa (112) denklemi elde edilir.

$$\left(\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right)_{m,n} = \frac{T_{m,n+1} - T_{m,n-1} - 2T_{m,n}}{\Delta y^2} \quad (112)$$

Eğer ($\Delta x = \Delta y$) eşitliği alınırsa, denklem (112) ve denklem (113) yerlerine konularak aşağıdaki eşitliği verir.

$$T_{m,n+1} + T_{m,n-1} + T_{m+1,n} + T_{m-1,n} - 4T_{m,n} = 0$$

Bu denklem katı cismin içerisindeki iki boyutlu ısı iletimi için, sistemin her noktası için geçerlidir.

Ek 5 RINGCAKEBAKING.F90 BİLGİSAYAR PROGRAMI

İKİ BOYUTLU ISI VE KÜTLE TRANSFER MATEMATİKSEL MODEL SAYISAL ÇÖZÜMÜ

! BU VERSİYONDA KÜTLE AKTARIMI BÖLÜMÜ KONTROL EDİLDİ
DIMENSION A(12),B(12),C(12),D(12),ANEM(12),BNEM(12),&

&CNEM(12),DNEM(12),&
&AA(12,12),BB(12,12),CC(12,12),DD(12,12),&
&AANEM(12,12),BBNEM(12,12),CCNEM(12,12),DDNEM(12,12),&
&T(12,12),Tstar(12,12),&
&Tprime(12),TprimeDt(12,12),Told(12,12),tprime1(12),&
&X(12,12),Xstar(12,12),Xprime(12),XprimeDt(12,12),&
&DEF(12,12),gammanemzed(12,12),gammanemr(12,12)

DIMENSION xeq(12,12), alfa(12,12),&
&gammazed(12,12), gammar(12,12),&
&xave(2000), xtopave(2000),xbottomave(2000),&
&xickarisimave(2000)

Real kkap,kalinlik,ilkkalinlik,kkek(12,12),landa(12,12),&
&kc(12,12),kdonecake,kbatter

Tim = 0
n = 10
m = 10
nh = 5
np1 = n + 1
mp1 = m + 1
nh1=NH+1
Open(2,file='halkek.dat',status='old')

TIMEMAX=50000
dt = 50
Tc=150.
xmin=0.10

! ORTAM SICAKLIĞI İLK SICAKLIĞA ESİT ALINDI

Ta = 25.7
Tr=25.7
Dxkap = 0.002
kkap = 206.
hc = 7.3/2
hy = 7.3/2
ha=7.3/2
Ua = (1. / ha + Dxkap / kkap)** (-1)
Uy = (1. / hy + Dxkap / kkap) **(-1)
hr = 7.3/2

```

Tin = 25.7
ilkkalinlik=0.0250
sonkalinlik=0.0640
yaricap =0.080
Dr = yaricap /n
ifreq=120
Xin = 0.56
H = 1.
robatter=947.8
rodonecake=290.
kbatter=0.24
kdonecake=0.121
Do i = 1 , nh1
Do jey = 1 , mp1
T(i, jey) = Tin
Told(i,jey)=Tin
Tstar(i,jey)= Tin
X(i,jey)= Xin
Xstar(i,jey)=Xin
end do
end do
j = 0
WRITE(2,*) "Tc:  ", Tc, "      Ta:  ", Ta,&
& "   Tr:", Tr, "   hc:  ", hc, &
&"   Ua:  ", Ua, "   Uy:", Uy, "   hr:", hr,' Tin=',tin
jmax = 2500
kalinlik =ilkkalinlik

1  CONTINUE
j = j + 1
if(tim.lt.900) then
kalinlik=ilkkalinlik+5.1e-5*tim
elseif(tim.ge.900.and.tim.le.1200) then
kalinlik=0.07
elseif(tim.gt.1200.and.tim.lt.1860) then
kalinlik=0.080928-0.000009*tim
elseif(tim.ge.1860) then
kalinlik=sonkalinlik
endif

! KALINLIK ILK KALINLIGA ESIT ALINDI
kalinlik=ilkkalinlik
DZ=kalinlik/m
If (j .GT. jmax ) Then
WRITE(6,*) "TIME TOO LONG."
End If

```

```

cp = 2650
Xsonsuz = 0
Do i = 1 , nh1
xeq(i, mp1) = H * X(i, mp1)
End do
do jey = 1 , mp1
xeq(1, jey) = H * X(1, jey)
end do
ro=robatter-(robatter-rodonecake)*(kalinlik-ilkkalinlik)/&
&(sonkalinlik-ilkkalinlik)
DO i = 1 , nh1
Do jey = 1 , mp1
kkek(i,jey)=kbatter-(kbatter-kdonecake)*(kalinlik-ilkkalinlik)&
&/ (sonkalinlik-ilkkalinlik)
alfa(i,jey)=kkek(i,jey)/(ro*cp)
end do
end do
Do i = 1 , nh1
Do jey = 1 , mp1
LANDA(I,JEY)=2222.0E3
! EFEKTIF DIFUZIVITE
def(i,jey)=3e-8
gammazed(i, jey) = (alfa(i, jey) * dt/2.) / (Dz ** 2)
gammaz(i, jey) = (alfa(i, jey) * dt/2.) / (Dr ** 2)
gammanemzed(i, jey) = (Def(i, jey) * dt) / (Dz ** 2) / 2.
gammanemr(i, jey) = (Def(i, jey) * dt) / (Dr ** 2) / 2.
End do
! KUTLE AKTARIM KATSAYISI
kc(i, mp1)=1.2E-6
End do
DO 99 i = 1 , nh1
AA(i, 1) = 0
BB(i, 1) = 1. + 2. * gammazed(i, 1) + (hr + Ua) * 2. * Dz /&
&kkek(i, 1) * gammazed(i, 1)
CC(i, 1) = -2.*gammazed(i, 1)
DO 100 jey = 2 , m
AA(i, jey) = -gammazed(i, jey)
BB(i, jey) = 1. + 2. * gammazed(i, jey)
CC(i, jey) = -gammazed(i, jey)
100 CONTINUE
AA(i, mp1) = -2. * gammazed(i, mp1)
BB(i, mp1) = 1. + 2 * gammazed(i, mp1) + (hr + hc) * 2 * Dz&
&/ kkek(i, mp1) * gammazed(i, mp1)
CC(i, mp1) = 0
99 CONTINUE
if (Told(1,1).lt.100) Then

```

```

    dd(1,1)= (1.-2.*gammar(1,1))*T(1,1)+2.*gammar(1,1)*T(2,1)+&
    &2.*gammar(1,1)*Dr/kkek(1,1)*(hr+Uy)/(1.-1./2./n)*(Ta-T(1,1))+&
    & gammazed(1,1)*2.*(hr+Uy)*dz/kkek(1,1)*Ta
    Else
    dd(1,1)= (1.-2.*gammar(1,1))*T(1,1)+2.*gammar(1,1)*T(2,1)+&
    &2.*gammar(1,1)*Dr/kkek(1,1)*(hr+Uy)/(1.-1./2./n)*(Ta-T(1,1))+&
    &gammazed(1,1)*2.*(hr+Uy)*dz/kkek(1,1)*Ta+&
    &landa(1,1)/cp*(x(1,1)-xstar(1,1))
    endif
    DO 101 jey = 2 ,m
    If(Told(1,jey).lt.100) then
    dd(1,jey)= (1.-2.*gammar(1,jey))*T(1,jey) + 2.*gammar(1,jey)*&
    &T(2,jey) + 2.*gammar(1,jey)*Dr/kkek(1,jey)*(hr+Uy)*(Ta-T(1,jey))&
    &/(1.-1/2./n)
    else
    dd(1,jey)= (1.-2.*gammar(1,jey))*T(1,jey) + 2.*gammar(1,jey)*&
    &T(2,jey) + 2.*gammar(1,jey)*Dr/kkek(1,jey)*(hr+Uy)*(Ta-T(1,jey))&
    &/(1.-1/2./n)&
    &+landa(1,jey)/cp*(x(1,jey)-xstar(1,jey))
    endif
101 CONTINUE
    If(told(1,mp1).lt.100) Then
    dd(1,mp1)= (1. -2.*gammar(1,mp1))*T(1,mp1)+2.*gammar(1,mp1)*&
    &T(2,mp1) + 2.*gammar(1,mp1)*Dr/kkek(1,mp1)*(hr+Uy)/(1.-1./2./n)&
    &*(Ta-T(1,1)) + gammazed(1,mp1)*2.*(hy+Uy)*Dz/kkek(1,mp1)*Ta
    else
    dd(1,mp1)= (1. -2.*gammar(1,mp1))*T(1,mp1)+2.*gammar(1,mp1)*&
    &T(2,mp1) + 2.*gammar(1,mp1)*Dr/kkek(1,mp1)*(hr+Uy)/(1.-1./2./n)&
    &*(Ta-T(1,1)) + gammazed(1,mp1)*2.*(hy+Uy)*Dz/kkek(1,mp1)*Ta&
    &+landa(1,mp1)/cp*(x(1,mp1)-xstar(1,mp1))
    endif
    DO i = 2 , nh
    if (told(i,1).lt.100) then
    dd(i,1)=gammar(i,1)*(1.+1./2./np1-i))*T(i-1,1) + (1. -2.*gammar&
    &(i,1))*T(i,1) + gammar(i,jey)*(1.- 1./2./np1-i))*T(i+1,1)&
    &+(hc*Ta+hr*Tr)*2.*Dz/kkek(i,1)*gammazed(i,1)
    else
    dd(i,1)=gammar(i,1)*(1.+1./2./np1-i))*T(i-1,1) + (1. -2.*gammar&
    &(i,1))*T(i,1) + gammar(i,jey)*(1.- 1./2./np1-i))*T(i+1,1)&
    &+(hc*Ta+hr*Tr)*2.*Dz/kkek(i,1)*gammazed(i,1)&
    &+landa(i,1)/cp*(x(i,1)-xstar(i,1))
    endif
    DO jey = 2 , m
    if (told(i,jey).lt.100) then
    DD(i, jey) = T(i - 1, jey) * gammar(i, jey) * (1. + 1./&
    &(2. * (np1 - i))) + T(i, jey) * (1.- 2.* gammar(i, jey)) +T(i +1,&

```



```

&jey) * gammar(i, jey) * (1. - 1. / (2. * (np1 - i)))
else
  DD(i, jey) = T(i - 1, jey) * gammar(i, jey) * (1. + 1./ &
& (2. * (np1 - i))) + T(i, jey) * (1.- 2.* gammar(i, jey))+T(i +1,&
& jey) * gammar(i, jey) * (1. - 1. / (2. * (np1 - i)))&
& +landa(i,jey)/cp*(x(i,jey)-xstar(i,jey))
end if
end do
if (told(i,mp1).lt.100) then
  DD(i, mp1) = T(i - 1, mp1) * gammar(i, mp1) * (1. + 1./&
& (2. * (np1 - i))) + T(i, mp1) * (1. - 2. * gammar(i, mp1))+ &
& T(i + 1, mp1) * gammar(i, mp1) * (1. - 1. / (2. * (np1 - i))) + &
& (2. * Dz / kkek(i, mp1) * gammazed(i, mp1)) * (hc * Ta + hr * Tr)
else
  DD(i, mp1) = T(i - 1, mp1) * gammar(i, mp1) * (1. + 1. /&
& (2. * (np1 - i))) + T(i, mp1) * (1. - 2. * gammar(i, mp1))+&
& T(i + 1, mp1) * gammar(i, mp1) * (1. - 1. / (2. * (np1 - i))) + &
& (2. * Dz / kkek(i, mp1) * gammazed(i, mp1)) * (hc * Ta + hr * Tr)&
& +landa(i,mp1)/cp*(x(i,mp1)-xstar(i,mp1))
end if
END DO
DO jey = 2, m
if(told(nh1,jey).lt.100) then
  DD(nh1, jey) = (1.-2*gammar(nh1,jey)-gammar(nh1,jey)*&
& (1.-1./2./(N+1.-NH1))*2.*(hc+hr)/kkek(NH1,jey)*dr)*T(NH1,jey)+2.&
& *gammar(NH1,jey)*t(NH,jey)+gammar( NH1,jey)*(1.-1./2./(N+1.-NH1))&
& *2.*(hc+hr)*dr/kkek(nh1,jey)*Ta
else
  DD(nh1, jey) = (1.-2*gammar(nh1,jey)-gammar(nh1,jey)*&
& (1.-1./2./(N+1.-NH1))*2.*(hc+hr)/kkek(NH1,jey)*dr)*T(NH1,jey)+2.&
& *gammar(NH1,jey)*t(NH,jey)+gammar( NH1,jey)*(1.-1./2./(N+1.-NH1))&
& *2.*(hc+hr)*dr/kkek(nh1,jey)*Ta&
& +landa(nh1,jey)/cp*(x(nh1,jey)-xstar(nh1,jey))
end if
END DO
if(told(nh1,1).lt.100) then
  DD(nh1, 1) = (1.-2*gammar(nh1,1)-gammar(nh1,1)*&
& (1.-1./2./(N+1.-NH1))*2.*(hc+hr)/kkek(NH1,1)*dr)*T(NH1,1)+2.&
& *gammar(NH1,1)*t(NH,1)+gammar( NH1,1)*(1.-1./2./(N+1.-NH1))&
& *2.*(hc+hr)*dr/kkek(nh1,1)*Ta&
& +gammazed(NH1,1)*2.*(hc+hr)*dz/KKEK(NH1,1)*Ta
else
  DD(nh1, 1) = (1.-2*gammar(nh1,1)-gammar(nh1,1)*&
& (1.-1./2./(N+1.-NH1))*2.*(hc+hr)/kkek(NH1,1)*dr)*T(NH1,1)+2.&
& *gammar(NH1,1)*t(NH,1)+gammar( NH1,1)*(1.-1./2./(N+1.-NH1))&
& *2.*(hc+hr)*dr/kkek(nh1,1)*Ta&

```

```

& +gammazed(NH1,1)*2.*(hc+hr)*dz/KKEK(NH1,1)*Ta&
& +landa(nh1,1)/cp*(x(nh1,1)-xstar(nh1,1))
endif
if(told(nh1,mp1).lt.100) then
  DD(nh1, mp1) = (1.-2*gammar(nh1,mp1)-gammar(nh1,mp1)*&
& (1.-1./2./(N+1.-NH1))*2.*(hc+hr)/kkek(NH1,mp1)*dr)*T(NH1,mp1)+2.&
&*gammar(NH1,mp1)*t(NH,mp1)+gammar( NH1,mp1)*(1.-1./2./(N+1.-NH1))&
&*2.*(hc+hr)*dr/kkek(nh1,mp1)*Ta&
& +gammazed(NH1,mp1)*2.*(hc+hr)*dz/KKEK(NH1,mp1)*Ta
else
  DD(nh1, mp1) = (1.-2*gammar(nh1,mp1)-gammar(nh1,mp1)*&
& (1.-1./2./(N+1.-NH1))*2.*(hc+hr)/kkek(NH1,mp1)*dr)*T(NH1,mp1)+2.&
&*gammar(NH1,mp1)*t(NH,mp1)+gammar( NH1,mp1)*(1.-1./2./(N+1.-NH1))&
&*2.*(hc+hr)*dr/kkek(nh1,mp1)*Ta&
& +gammazed(NH1,mp1)*2.*(hc+hr)*dz/KKEK(NH1,mp1)*Ta&
&+landa(nh1,mp1)/cp*(x(nh1,mp1)-xstar(nh1,mp1))
end if
DO i = 1 , nh1
DO jey = 1 , mp1
A(jey) = AA(i, jey)
B(jey) = BB(i, jey)
C(jey) = CC(i, jey)
D(jey) = DD(i, jey)
END DO
Call Tridiag(1, mp1, A, B, C, D, Tprime1)
DO jey = 1 ,mp1
Tstar(i, jey) = Tprime1(jey)
END DO
end do
!   iF((j/ifreq)*ifreq.ne.j) go to 57
!   write(2,*)"tstar="
!   do 55 jey=mp1,1,-1
!55  WRITE(2,2001) (Tstar(i,JEY),i=nh1,1,-1)

! 57  continue
Xsonsuz = 0
DO i = 1 , NH1
xeq(i, mp1) = H * X(i, mp1)
END DO
DO jey = 1 , mp1
xeq(1, jey) = H * X(1, jey)
END DO
DO i = 1 , nh1
AANEM(i, 1) = 0
BBNEM(i, 1) = 1. + 2. * gammanemzed(i, 1)
CCNEM(i, 1) = -2. * gammanemzed(i, 1)

```

```

DO jey = 2 , m
AANEM(i, jey) = -gammanemzed(i, jey)
BBNEM(i, jey) = 1. + 2. * gammanemzed(i, jey)
CCNEM(i, jey) = -gammanemzed(i, jey)
END DO
AANEM(i, mp1) = -2. * gammanemzed(i, mp1)
BBNEM(i, mp1) = 1. + 2. * gammanemzed(i, mp1) + kc(i, mp1)&
&/ Def(i, mp1) * 2. * Dz * H * gammanemzed(i, mp1)
CCNEM(i, mp1) = 0
END DO
DDNEM(1, 1) = X(1, 1) * (1. - 2. * gammanemr(1, 1)) +&
& X(2, 1) * (gammanemr(1, 1)) * 2.
DO jey = 2 , m
ddNEM(1, jey) = X(2, jey) * gammanemr(1, jey) * 2. +&
& X(1, jey) * (1. - 2. * gammanemr(1, jey))
END DO
DDNEM(1, mp1) = X(1, mp1) * (1.- 2. * gammanemr(1, mp1))+&
& X(2, mp1) * gammanemr(1, mp1) * 2. - kc(1, mp1) / Def(1, mp1)* 2&
& *Dz * (-Xsonsuz) * gammanemzed(1, mp1)
DO i = 2 ,nh
DDNEM(i, 1) = X(i, 1) * (1. - 2. * gammanemr(i, 1)) +&
& X(i - 1, 1) * (gammanemr(i, 1)) * (1. + 1./(2. * (np1 - i)))+&
& X(i + 1, 1) * gammanemr(i, 1) * (1.-1. / (2. * (np1 - i)))
DO jey = 2 , m
DDNEM(i, jey) = X(i, jey) * (1.-2. * gammanemr(i, jey)) &
& + X(i - 1, jey) * gammanemr(i, jey) * (1.+1. /(2. * (np1 - i)))+&
& + X(i + 1, jey) * gammanemr(i, jey) * (1.-1. /(2. * (np1 - i)))
END DO
DDNEM(i, mp1) = X(i, mp1) * (1. -2. *gammanemr(i, mp1)) +&
& X(i - 1, mp1) * gammanemr(i, mp1) * (1.+1./(2. * (np1 - i))) +&
& X(i + 1, mp1) * gammanemr(i, mp1) * (1.-1. /(2. * (np1 - i))) -&
& kc(i, mp1) / Def(i, mp1) * 2. * Dz * (-Xsonsuz) * gammanemzed&
& (i, mp1)
END DO
do jey=1,mp1
DDNEM(nh1, jey) = X(nh1, jey) * (1.-2. * gammanemr(nh1, jey))+&
& X(nh, jey) * (2.* gammanemr(nh1, jey))
end do
ddnem(nh1,mp1)=DDnem(nh1,mp1)+2.*dz*kc(nh1,mp1)/def(nh1,mp1)&
& *xsonsuz*gammanemr(nh1,mp1)
DO i = 1,nh1
DO jey = 1 ,mp1
ANEM(jey)= AANEM(i, jey)
BNEM(jey)= BBNEM(i, jey)
CNEM(jey)= CCNEM(i, jey)
DNEM(jey)= DDNEM(i, jey)

```

```

END DO
Call Tridiag(1, mp1, ANEM, BNEM, CNEM, DNEM, Xprime)
DO jey = 1 , mp1
Xstar(i,jey)=Xprime(jey)
END DO
END DO
DO i = 1 ,nh1
if(xstar(i,mp1).lt.0) xstar(i,mp1)=0
xeq(i, mp1) = H * Xstar(i, mp1)
END DO
DO jey = 1 , mp1
xeq(1, jey) = H * Xstar(1, jey)
END DO
DO jey = 1 , mp1
AA(1, jey) = 0
BB(1, jey) = 1. + 2.* gammar(1, jey) + (hr + Uy) * 2 * Dr/&
& kkek(1, jey) * gammar(1, jey) * (1. + 1. / (2. * n))
CC(1, jey) = -2. * gammar(1, jey)
DO i = 2 , nh
AA(i, jey) = -gammar(i, jey) * (1. / 2. / (Np1 - i) + 1.)
BB(i, jey) = 1. + 2. * gammar(i, jey)
CC(i, jey) = -gammar(i, jey) * (-1. / 2. / (np1 - i) + 1.)
end do
end do
do jey=1,mp1
AA(nh1, jey) = - 2.*gammar(nh1, jey)
CC(nh1, jey) = 0
end do
do jey=2,M
BB(nh1, jey) = 1. + 2* gammar(nh1, jey)+ gammar(nh1, jey)&
& *(-1. / 2. / (np1 - nh1) + 1.)*2.*(hc+hr)/kkek(nh1,jey)*dr
end do
BB(nh1, 1) = 1. + 2* gammar(nh1, 1)+ gammar(nh1,1)&
& *(-1. / 2. / (np1 - nh1) + 1.)*2.*(hc+hr)/kkek(nh1,1)*dr
BB(nh1, mp1) = 1. + 2* gammar(nh1, mp1)+ gammar(nh1, mp1)&
& *(-1. / 2. / (np1 - nh1) + 1.)*2.*(hc+hr)/kkek(nh1,mp1)*dr
& if (tstar(1,1).lt.100) then
dd(1,1)=gammazed(1,1)*(2.*dz/kkek(1,1)*(hr+Ua)*(Ta-Tstar(1,1)))&
& +(1.-2.*gammazed(1,1))*tstar(1,1)+2.*gammazed(1,1)*tstar(1,2)+&
& gammar(1,1)*(1.+1./2./n)*2.*dr/kkek(1,1)*(hr+Uy)*Ta
else
dd(1,1)=gammazed(1,1)*(2.*dz/kkek(1,1)*(hr+Ua)*(Ta-Tstar(1,1)))&
& +(1.-2.*gammazed(1,1))*tstar(1,1)+2.*gammazed(1,1)*tstar(1,2)+&
& gammar(1,1)*(1.+1./2./n)*2.*dr/kkek(1,1)*(hr+Uy)*Ta&
& +landa(1,1)/cp*(xstar(1,1)-x(1,1))
end if

```

```

DO jey = 2 , m
  if(tstar(1,jey).lt.100) then
    DD(1, jey) = Tstar(1, jey) * (1.- 2.* gammazed(1, jey))&
& + Tstar(1, jey - 1) * gammazed(1, jey) + Tstar(1, jey + 1) *&
& gammazed(1, jey)+ 2.*Dr/kkek(1,jey)*(ha*Ta+hr*Tr)*gammar(1,jey)&
& *(1.+1./2./n)
  else
    DD(1, jey) = Tstar(1, jey) * (1.- 2.* gammazed(1, jey))&
& + Tstar(1, jey - 1) * gammazed(1, jey) + Tstar(1, jey + 1)*&
& gammazed(1, jey)+ 2.*Dr/kkek(1,jey)*(ha*Ta+hr*Tr)*gammar(1,jey)&
& *(1.+1./2./n)&
& +landa(1,jey)/cp*(xstar(1,jey)-x(1,jey))
  end if
end do
if(tstar(1,mp1).lt.100) then
  DD(1, mp1) = Tstar(1, mp1)* (1. -2. * gammazed(1, mp1))&
& + Tstar(1, m) * 2. * gammazed(1, mp1) + 2. * Dz / kkek(1, mp1)*&
& gammazed(1, mp1) * (hc * (Ta - Tstar(1, mp1)) + hr * (Tr - Tstar&
& (1, mp1)))+gammar(1,mp1)*(1.+1./2./n)*2.*dr/kkek(1,mp1)*(hr+Uy)*Ta
  else
    DD(1, mp1) = Tstar(1, mp1)* (1. -2. * gammazed(1, mp1))&
& + Tstar(1, m) * 2. * gammazed(1, mp1) + 2. * Dz / kkek(1, mp1)*&
& gammazed(1, mp1) * (hc * (Ta - Tstar(1, mp1)) + hr * (Tr - Tstar&
& (1, mp1)))+gammar(1,mp1)*(1.+1./2./n)*2.*dr/kkek(1,mp1)*(hr+Uy)*&
& Ta+landa(1,mp1)/cp*(xstar(1,mp1)-x(1,mp1))
  end if
DO i = 2 , nh
  if(tstar(i,1).lt.100) then
    DD(i, 1) = Tstar(i, 1) * (1.-2.* gammazed(i, 1)) + (Ua * &
& (Ta - Tstar(i, 1)) + hr * (Ta - Tstar(i, 1))) * 2. * Dz /&
& kkek(i, 1)&
& * gammazed(i, 1) + Tstar(i, 2) * 2. * gammazed(i, 1)
  else
    DD(i, 1) = Tstar(i, 1) * (1.-2.* gammazed(i, 1)) + (Ua *&
& (Ta - Tstar(i, 1)) + hr * (Ta - Tstar(i, 1))) * 2. * Dz /&
& kkek(i, 1)&
& * gammazed(i, 1) + Tstar(i, 2) * 2. * gammazed(i, 1)&
& +landa(i,1)/cp*(xstar(i,1)-x(i,1))
  end if
DO jey = 2 , m
  if(tstar(i,jey).lt.100) then
    DD(i, jey) = Tstar(i, jey) * (1.- 2.* gammazed(i, jey)&
& + Tstar(i, jey - 1) * (gammazed(i, jey)) + Tstar(i, jey + 1)&
& * gammazed(i, jey)
  else
    DD(i, jey) = Tstar(i, jey) * (1.- 2.* gammazed(i, jey)&

```

```

& + Tstar(i, jey - 1) * (gammazed(i, jey)) + Tstar(i, jey + 1)&
& * gammazed(i, jey)+landa(i,jey)/cp*(xstar(i,jey)-x(i,jey))
endif
end do
if(tstar(i,mp1) .lt.100) then
  DD(i, mp1) = Tstar(i, mp1) * (1. - 2. * gammazed(i, mp1))+&
& Tstar(i, m) * 2. * gammazed(i, mp1) + 2. * Dz / kkek(i, mp1)*&
& gammazed(i, mp1) * (hc * (Ta - Tstar(i, mp1)) + hr * (Tr - &
& Tstar(i, mp1)))
else
  DD(i, mp1) = Tstar(i, mp1) * (1. - 2. * gammazed(i, mp1))+&
& Tstar(i, m) * 2. * gammazed(i, mp1) + 2. * Dz / kkek(i, mp1)*&
& gammazed(i, mp1) * (hc * (Ta - Tstar(i, mp1)) + hr * (Tr - &
& Tstar(i, mp1)))+landa(i,mp1)/cp*(xstar(i,mp1)-x(i,mp1))
end if
END DO
do jey=2,m
if(tstar(nh1,jey).lt.100) then

  dd(nh1,jey)=GAMMAZED(nh1,JEY)*TSTAR(nh1,JEY-1)+(1.-2.*GAMMAZED&
& (nh1,JEY))*TSTAR(nh1,jey)+gammazed(NH1,jey)*tstar(NH1,jey+1)+&
& gammar(nh1,jey)*(1.-1./2./(np1-nh1))*2.&
& *(hc+hr)*dr/kkek(nh1,jey)*Ta
else
  dd(nh1,jey)=GAMMAZED(nh1,JEY)*TSTAR(nh1,JEY-1)+(1.-2.*GAMMAZED&
& (nh1,JEY))*TSTAR(nh1,jey)+gammazed(NH1,jey)*tstar(NH1,jey+1)+&
& gammar(nh1,jey)*(1.-1./2./(np1-nh1))*2.&
& *(hc+hr)*dr/kkek(nh1,jey)*Ta&
& +landa(nH1,JEY)/cp*(xstar(nh1,1)-x(nh1,1))
end if
end do
IF(TSTAR(NH1,1).lt.100.)then
  dd(NH1,1)=(1-2.*GAMMAZED(NH1,1)-
GAMMAZED(NH1,1)*2.*(HC+HR)*DZ/&
& KKEK(Nh1,1))*tSTAR(NH1,1)+2.*GAMMAZED(NH1,2)*tstar(NH1,2)+&
& GAMMAZED(NH1,1)*2.*(hc+hr)*dz/kkek(NH1,1)*Ta+&
& GAMMAR(NH1,1)*(1.-1./2./(np1-nh1))*2.*(hc+hr)*dR/kkek(NH1,1)*Ta
else
  dd(NH1,1)=(1-2.*GAMMAZED(NH1,1)- gammazed(NH1,1)*2.*(HC+HR)*DZ/&
& KKEK(Nh1,1))*tSTAR(NH1,1)+2.*GAMMAZED(NH1,2)*tstar(NH1,2)+&
& GAMMAZED(NH1,1)*2.*(hc+hr)*dr/kkek(NH1,1)*Ta+&
& GAMMAR(NH1,1)*(1.-1./2./(np1-nh1))*2.*(hc+hr)*dR/kkek(NH1,1)*Ta&
& +landa(nH1,1)/cp*(xstar(nh1,1)-x(nh1,1))
end if
IF(TSTAR(NH1,MP1).LT.100) THEN
  dd(NH1,mp1)=(1-2.*GAMMAZED(NH1,mp1)-GAMMAZED(NH1,mp1)&

```

```

*2.*(HC+HR)*DZ/KKEK(Nh1,mp1))*tSTAR(NH1,mp1)+2.*GAMMAZED(NH1,mp1)
*&
  &tstar(NH1,m)+&
  &GAMMAZED(NH1,mp1)*2.*(hc+hr)*dz/kkek(NH1,mp1)*Ta&
  &+GAMMAR(NH1,MP1)*(1.-1./2./(np1-nh1))*2.*(hc+hr)*dR/&
  &kkek(NH1,MP1)*Ta
  else
    dd(NH1,mp1)=(1-2.*GAMMAZED(NH1,mp1)-GAMMAZED(NH1,mp1)& *2.
    *(HC+HR)*DZ/KKEK(Nh1,mp1))*tSTAR(NH1,mp1)+2.*GAMMAZED(NH1,mp1)&
    &*tstar(NH1,m)+&
    &GAMMAZED(NH1,mp1)*2.*(hc+hr)*dz/kkek(NH1,mp1)*Ta&
    &+GAMMAR(NH1,MP1)*(1.-1./2./(np1-nh1))*2.*(hc+hr)*dR/&
    &kkek(NH1,MP1)*Ta &
    &+landa(nH1,MP1)/cp*(xstar(nh1,MP1)-x(nh1,MP1))
    dd(NH1,mp1) =dd(NH1,mp1)+landa(nH1,MP1)/cp*(xstar(nh1,MP1)&
    &-x(nh1,MP1))
  ENDIF
DO jey = 1 , mp1
DO i = 1 , nh1
A(i) = AA(i, jey)
B(i) = BB(i, jey)
C(i) = CC(i, jey)
D(i) = DD(i, jey)
END DO
Call Tridiag(1,nh1, A, B, C, D, Tprime)
DO i = 1 , nh1
TPRIMEDT(I,JEY)=TPRIME(I)
END DO
end do
DO jey = 1, mp1
AANEM(1, jey) = 0
BBNEM(1, jey) = 1. + 2. * gammanemr(1, jey)
CCNEM(1, jey) = -2. * gammanemr(1, jey)
DO i = 2 , nh
AANEM(i, jey) = -gammanemr(i, jey) * (1./2. / (np1 - i) +1.)
BBNEM(i, jey) = 1 + 2. * gammanemr(i, jey)
CCNEM(i, jey) = -gammanemr(i, jey) * (1. - 1./2./ (np1 - i))
END DO
AANEM(nh1,jey) = -2. * gammanemr(nh1, jey)
BBNEM(nh1, jey) = 1. + 2. * gammanemr(nh1, jey)
CCNEM(nh1, jey) = 0
END DO
DDNEM(1, 1) = Xstar(1, 1) * (1.- 2.* gammanemzed(1, 1))+&
& Xstar(1, 2) * (2 * gammanemzed(1, 1))
DO jey = 2 , m
DDNEM(1, jey) = Xstar(1, jey) * (1.- 2.* gammanemzed&

```

```

&(1, jey)) + Xstar(1, jey - 1) * (gammanemzed(1, jey)) + Xstar&
&(1, jey + 1) * gammanemzed(1, jey)
END DO
DDNEM(1, mp1) = Xstar(1, mp1) * (1.- 2.* gammanemzed&
&(1, mp1)) + Xstar(1, m) * 2.* gammanemzed(1, mp1) - kc(1, mp1)/&
& Def(1, mp1) * 2 * Dz * (xeq(1, mp1) - Xsonsuz) * gammanemzed&
&(1, mp1)
DO i = 2 , nh
DDNEM(i, 1) = Xstar(i, 1) * (1.- 2.* gammanemzed(i, 1)) +&
& Xstar(i, 2) * (2. * gammanemzed(i, 1))
DO jey = 2 , m
DDNEM(i, jey) = Xstar(i, jey) * (1.- 2.* gammanemzed&
&(i, jey)) + Xstar(i, jey - 1) * gammanemzed(i, jey) +&
& Xstar(i, jey + 1) * gammanemzed(i, jey)
END DO
DDNEM(i, mp1) = Xstar(i, mp1) * (1.- 2. * gammanemzed&
&(i, mp1)) + Xstar(i, m) * 2. * gammanemzed(i, mp1) - kc(i, mp1)/&
& Def(i, mp1) * 2. * Dz * (xeq(i, mp1) - Xsonsuz) * gammanemzed&
&(i, mp1)
END DO
DDNEM(nh1, 1) = Xstar(nh1, 1) * (1.-2. * gammanemzed&
&(nh1, 1)) + Xstar(nh1, 2) * (2. * gammanemzed(nh1, 1))
DO jey = 2 , m
DDNEM(nh1, jey) = Xstar(nh1, jey-1 ) * gammanemzed&
&(nh1, jey) + Xstar(nh1, jey) * (1.-2. * gammanemzed(nh1, jey))&
& +Xstar(nh1, jey+1 ) * gammanemzed(nh1, jey)
END DO
DDNEM(nh1, mp1) = Xstar(nh1, m) * gammanemzed&
&(nh1, mp1) + Xstar(nh1, mp1) * (1.- 2.*gammanemzed(nh1, mp1))+&
& gammanemzed(nh1, mp1) *(Xstar(nh1, m)-kc(nh1, mp1) / Def(nh1, mp1))&
& * 2. * Dz * (H*Xstar(nh1, mp1)-xsonsuz)
DO jey = 1 ,mp1
DO i = 1 , nh1
ANEM(i) = AANEM(i, jey)
BNEM(i) = BBNEM(i, jey)
CNEM(i) = CCNEM(i, jey)
DNEM(i) = DDNEM(i, jey)
END DO
Call Tridiag(1, nh1, ANEM, BNEM, CNEM, DNEM, Xprime)
DO i = 1 , nh1
XprimeDt(i, jey) = Xprime(i)
END DO
END DO
iF((j/ifreq)*ifreq.ne.j) go to 257
wriTE(2,*) "xprimedt="
do jey=mp1,1,-1

```



```

wriTE(2,2001) (xprimedt(i,JEY),i=nh1,1,-1)
end do
257 continue
Xtotal = 0
do jey =1, mp1
do i=1,nh1
xtotal = xtotal + xprimedt(i,jey)
end do
end do
xave(j)=xtotal/mp1/nh1
xtop=0
xbottom=0
do jey =mp1-2, mp1
do i=1,nh1
xtop=xtop+xprimedt(i,jey)
end do
end do
xtopave(j)=xtop/nh1/3
do jey =1, 3
do i=1,nh1
xbottom= xbottom+ xprimedt(i,jey)
end do
end do
xbottomave(j)=xbottom/nh1/3
xickarisim=0
do jey =4,mp1-2
do i=2,nh-1
xickarisim=xickarisim +xprimedt(i,jey)
end do
end do
xickarisimave(j)=xickarisim/(nh-3.)/(MP1-3.)
xave(1) = Xin
DO i = 1 , nh1
DO jey = 1 , mp1
TOLD(I,JEY)=T(i,jey)
T(i, jey) = Tprimedt(i, jey)
END DO
end do
DO i = 1 , nh1
DO jey = 1 , mp1
X(i, jey) = XprimeDt(i, jey)
END DO
END DO
tim = tim + dt
if((j/ifreq)*ifreq.ne.j) go to 88
write(2,*)"time      ",tim,&

```

```

& "Top Moisture content    ",xtopave(j),&
& "Average Moisture content    ",xave(j),&
& 'Bottom moisture content=    ',xbottomave(j),&
& 'ic karisim moisture content=    ',xickarisimave(j)
WRITE(2,*)"TIME=    ",TIM
WRITE(2,*)"TEMP=    "
do jey=mp1,1,-1
WRITE(2,2001)( T(I,jey),I=NH1,1,-1)
end do
2001 FORMAT(10f10.4)
88  continue
if(T(nh1/2+1,mp1/2+1).ge.tc) go to 10
if(x(nh1/2+1,1).le.xmin) go to 10
if(xave(j).le.xmin)go to 10
IF(TIM.Ge.TIMEMAX) GO TO 10
Go to 1
10  continue
write(2,*) "Def=    ",Def(1,1),"    kc=    ",kc(1,mp1)
WRITE(2,*) "END OF COMPUTATION","J",J,"TIME",tim
close(2)
STOP
END
SUBROUTINE Tridiag(IL, L, A, B, C, D, V)
DIMENSION A(11),B(11),C(11),D(11),V(11),BETA(11),GAM(11)
beta(IL) = B(IL)
gam(IL) = D(IL) / beta(IL)
ILP1 = IL + 1
DO i = ILP1 , L
beta(i) = B(i) - A(i) * C(i - 1) / beta(i - 1)
gam(i) = (D(i) - A(i) * gam(i - 1)) / beta(i)
END DO
V(L) = gam(L)
Last = L - IL
DO k = 1 , Last
i = L - k
V(i) = gam(i) - C(i) * V(i + 1) / beta(i)
END do
RETURN
End

```

TEŞEKKÜR

Bitirme tez danışmanım değerli hocam sayın Prof. Dr. Coşkan ILICALI üniversite eğitimim ve tez üzerinde gösterdiği çok destek ve katkı için teşekkürlerimi sunarım.

Bitirme tez üzerinde gösterdiği destek ve yardım için Ege Üniversitesi Öğretim Elemanı Dr. Melike Sakin'e özel teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca bana destek veren meslektaş arkadaşlarım için özel teşekkür sunuyorum.

ПЛАГИАТ ЖАСАЛБАГАНДЫГЫ ТУУРАЛУУ БИЛДИРҮҮ

Мен бул эмгекте алынган баардык маалыматтарды академиялык жана этикалык эрежелерге ылайык колдондум. Тагыраак айтканда бул эмгекте колдонулган, бирок мага тиешелүү болбогон маалыматтардын баардыгын тиркемеде так көрсөттүм жана эч кайсы жерден плагиат жасабагандыгыма ынандырып кетким келет.

Аты, жөнү: Бөдөшов Айбек

Колу:

Датасы: 03.06.2011

İNTİHAL YAPILMADIĞINI BELİRTEN İFADE

Ben bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurllarına göre aldığımı ve sunduğumu belirtiyorum. Bu çalışmaya özgün olmadan kullandığım bütün materyal ve bilgilere akademik ve etik kurallar gereğince atıfta bulunduğumu ve hiçbir şekilde intihal yapmadığımı açıkça bildiriyorum.

ISIM, SOYADI: Aybek BÖDÖŞOV

İMZA:

TARİH: 03.06.2011

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Doğum Yeri ve Yılı: Kırgızistan, Bişkek, 23.03.1986

Öğretim Gördüğü Kurumlar

Aldığı Derece	Başlama Yılı	Bitirme Yılı	Kurum Adı
Lise	1992 1996	1996 2003	T. Satılganov Manas okul (Talas) T. Satılganov №69 öğretim ve eğitim kompleksi okul
Lisans	2003	2008	Kırgızistan-Türkiye Manas Üniversitesi
Yüksek Lisans	2008	2011	Kırgızistan-Türkiye Manas Üniversitesi

Medeni Durum : Bekar

Bildiği Yabancı Diller ve Düzeyi: Türkçe (çok iyi), İngilizce (iyi), Rusça (çok iyi), Kırgızca (çok iyi)

Çalıştığı Kurum.

Başlama Tarihi	Ayrılma Tarihi	Çalışılan Kurumun Adı
2008 yılı, Eylül	-	Kırgızistan-Türkiye Manas Üniversitesi

Yurtdışı Görevleri: : AIESEC kurumunun üyesi.

SCI kurumunun üyesi, gönüllü.

Aldığı Ödüller : İşbirliği ve Kalkınma İsviçre Ofisi tarafından düzenlenmiş ‘Ülkenin gelişimi için projeler ve fikirler’ projesinde – Birincilik

**Kırgızistan-Türkiye Manas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
tarafından düzenlenmiş:**

‘Biyoloji Olimpiyatı’- İkincilik

‘Çevre Olimpiyatı’-Üçüncülük

Yurt İçi ve Yurt Dışında Katıldığı Projeler:

Katıldığı Yurt İçi ve Yurt Dışı Bilimsel Toplantılar:

1. ‘Uluslararası Çevre Sempozyumu ’ – Bişkek, 2008. Kırgızistan-Türkiye Manas Üniversitesi.
2. Kırgızistan-Türkiye Manas Üniversitesi Ziraat, Veteriner Fakülteleri, Gıda Mühendislik Bölümü ve Kırgız Tarım Üniversitesi tarafından düzenlenen ‘Dünyadaki ve Kırgızistan’daki Gıda Güvenliği’ Konferans, 2010.
3. Kırgızistan-Türkiye Manas Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendislik Bölümü tarafından düzenlenen ‘Türkiye’de Mühendis ve Mimar Odaları’, Bişkek.

03/06/2011

Aybek BÖDÖŞOV