

YEM VE YEM HAMMADDELERİNDE KÜFLENMENİN ÖNLENMESİ VE MİKOTOKSİNLERLE KİRLETİLMİŞ BU TÜR YEMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK UYGULAMALAR

Sezai Kaya¹

Ender Yarsan²

**Prevention of mouldy in feeds and feedstuffs utilization of mycotoxine
contaminated feedingstuffs.**

Summary: *Mycotoxins are a group of toxic chemical compounds, produced by certain strains of a number of species of fungi when they grown under favourable conditions. Degradation of mycotoxin contaminated feeds and feedstuffs has been a continuing challenge for the food industry.*

This review is in three parts. Part I, gives a schedule of practices recommended respectively for standing crops, for harvesting and drying, for storage of crops, for transportation and chemical detoxification of mycotoxins in feedstuffs by chemical and physical methods. Part II, is explanation to detoxification of aflatoxin B₁, in feeds and feedstuffs by chemical and physical methods. Part III, is informed utilization of mouldy or mycotoxins contaminated products.

Özet: *Mikotoksinler, bazı mantar türleri tarafından, uygun şartlar oluştuğunda üretilen zehirli kimyasal bileşiklerdir. Yem ve yem hammaddelerinde mikotoksinlerin yıkımlanması gıda endüstrisi için sürekli olarak sorun oluşturmıştır.*

Bu makale üç bölümden oluşmuştur. Birinci bölümde; ürünün hasat edilmesi, kurutulması, depolanması, taşınması sırasında yapılabilecek uygulamalar ve mikotoksinlerin kimyasal yollarla yıkımlanması işlemleri anlatılmıştır. İkinci bölümde yemlerde ve yem hammaddelerinde aflatoksin B₁'in fiziksel ve kimyasal metodlarla yıkımlanmasına yönelik uygulamalar verilmiştir. Üçüncü bölümde ise mikotoksinlerle bulaşmış ürünün güvenli bir şekilde kullanılmasına ilişkin bilgi sunulmuştur.

Giriş

Mikotoksinler, çeşitli mantar türleri tarafından sentezlenen, insan ve hayvanlar tarafından alındıkları zaman, latent, akut veya kronik karakterde zehirlenmelere neden olan kimyasal maddeler veya metabolitlerdir. Mikotoksin terimi mantar anlamına gelen myco ve zehir anlamına gelen toxin kelimelerinin birleşmesinden türetilmiştir (4, 16).

Mikotoksin oluşturan mantarlar dünyanın her tarafında yaygın şekilde bulunurlar. Gerek sahada gerekse harmanlama, depolama, taşıma ve hazırlama sırasında şartlar (özellikle ısı ve rutubet) mantarların gelişmesine uygun olduğu takdirde, tarım ürünleriyle bunlardan hazırlanan yem ve besinler mantarların istilasına uğrayarak

mikotoksinlerle kolayca kirlenebilirler. Bu kirlenmelerin doğurduğu olayların hayvanlarda özellikle farkına varılmadan seyretmesi, ayrıca, gerek hayvan sağlığı ve ekonomik işletmecilik yönünden gerekse kalıntıları vasıtasıyla doğuracakları toplum sağlığı riski bakımından günümüzde en çok ilgi doğuran konuyu oluştururlar (15, 16). Mikotoksin çeşitleriyle kirlenmiş bitkisel besinlerle beslenen insanlarda, evcil hayvanlarda görülenlere benzer şekilde, karmaşık nitelikli, karaciğer, böbrek, deri, kan, sinir sistemi ve hormonal denge bozukluklarıyla kendini gösteren akut ve kronik zehirlenmeler meydana gelebilmektedir. Tek hücreli mantarlara bağlı olarak yem ve besinlerde küflenmeye neden olan ve bütün dünyada sıklıkla karşılaşılan bu doğal kirlenme durumunda, her yıl dünya tahıl

1 Prof. Dr. A.Ü. Veteriner Fakültesi Farmakoloji Toksikoloji Anabilim Dalı-Ankara.

2. Araş. Gör.Dr. A.Ü. Veteriner Fakültesi Farmakoloji Toksikoloji Anabilim Dalı-Ankara

ve yağlı tohum üretiminin en az %1'i çürüme-küflenme yüzünden işe yaramaz hale gelirken, %20'ye yakın kısmı da değişik derecelerde mikotoksinlerle kirlenirler (23).

Bugün kimyasal yünden iyi tanımlanmış 60 kadar mikotoksin grubu bilinmektedir. Hayvan yemlerinde bulunabilen 220'ye yakın mantar türü bu toksinlerin üretilmesinden sorumludur. Bunlar birbirinden oldukça farklı kimyasal yapı (*coumarinler, terpenoidler, antrakonlar, piperazinler, pıranlar, steroidler, fenolik makrolidler, piridinler, tetronik asitler, poliketidler amino asit türevleri*) gösterirler (6).

Besinler ve yemlerde küflenmeye yol açan mantarlar başlıca üç kaynaktan gelirler. Birincisi, bitkinin büyümesi gelişmesi sırasında fitoparazit olarak yerleşen, ekim alanlarına bağlı mantar florasıdır; bu grupta *Fusarium, Cladosporium, Claviceps, Pullaria, Rhizopus, Alternaria* türleri bulunur. İkincisi, hasat sonucunda kirlenici olarak tarımsal ürünlere yansıyan, tarla mantar florasından nispeten daha düşük sıcaklık (20 C) ve rutubet (%60) şartlarına uyum sağlamış yani, ambar şartlarına alışmış olan *Aspergillus* ve *Penicillium* türleridir. Üçüncüsü, depolama koşullarının, mantarların üreyebileceği şartlar yönünde değişmesiyle ortaya çıkan ve *Fusarium, Sardarya, Popullaspora, Aspergillus* türlerinin içinde yer aldığı gruptur (16).

Yemlerde ve besinlerde küflenme olayını etkileyen bir dizi faktör vardır. Bunların başlıcaları şu şekilde sayılabilir:

Nisbi rutubet ve denge durumu: Fungal etkinliğin ve çoğalmanın başlayabilmesi için gerekli olan çevresel etkenlerin başında rutubet gelir. Genellikle kserofit nitelikteki mantar sporlarının gelişebilmesi için ortam havasındaki nisbi rutubetin %50 veya daha yüksek ve çoğalma ortamındaki rutubet içeriğinin de %10'un üstünde olması gerekir. Rutubet içeriğinde ortaya çıkacak çok düşük farklılıkların bile mantar çeşitlerince duyarlı bir şekilde farkedilmesi mikoloji yönünden önemlidir (24).

Isı: Birçok mantarın çoğalması için gerekli optimal ısı 27 C'dir. Ancak, bu durum mantar çeşidine göre değişmekle beraber, 15 C'nin üstünde genellikle mantar üremesi söz konusudur. Bunun yanında 0 C'nin altında ve 55 C'nin üstünde bile bazı mantar türleri üreyebilmektedir. Genellikle, yüksek ısıya bağlı olarak enzimatik kökenli moleküler bozulmalar meydana gelirken, ısının düşmesi sonucunda da, enerji kaybına bağlı olarak biyokimyasal tepkimelerin hızı yavaşlar (16,24).

Oksijen: Mantarlar aerobik canlılardır. dolayısıyla, ortamdaki CO₂, yoğunluğu %10'un üstüne çıkarsa mantar mikroflorası hızla baskı altına alınır (24).

Besin çeşidi: Yem ve yem hammaddeleri ile besin çeşidi de genellikle mantarların gelişmesi ve mikotoksin sentezlemesini etkilemektedir. Ancak, aflatoksin sentezleyen mantar çeşitleri için böyle bir bağımlılık yoktur. Özellikle, kullanılabilir karbonhidrat ve yağ içeriğince zengin olan tarımsal ürünler ile besin çeşitleri hızla küflenerek bozulmaya uğrar. Ayrıca, gerek hasat ve gerekse işlenme sırasında fazlaca mekanik hasar görmüş veya çeşitli parazitlerin hücumuna uğramış ve fiziki bütünlüğünü yitirmiş tarımsal ürünlerin mantar invazyonlarına karşı direnci bütünüyle kaybolabilir. Bunun sonucu, mısır, arpa, yulaf, buğday, pirinç, darı gibi tarım ürünleri ile pamuk tohumu, soya, yerfıstığı, fındık ve ayçiçeği gibi yağlı tohumlar ve bunlardan hazırlanan yem ve besinler sıkça mantar istilasına uğrayarak mikotoksinlerle kirlenebilirler (16, 24).

Diğer şartlar: Türler göre değişmekle beraber, mantarlar pH değişikliklerine kolayca uyum gösterebilirler. Büyük çoğunlukla pH 2-7.5 arasında üreme gösterirler. Ancak, genel bir kural olarak, bazik ortamlara göre hafif asit pH'lı yiyecekler fungal etkinlikler için daha uygun ortam oluştururlar. Daha düşük pH derecelerinde ise, fungal üreme ve spor şekillenmesi baskılanır. Gelişme ortamında bulunan ve katalizör olarak görev yapan çeşitli metal iyonları, fungusid maddeler ve radyasyon fungal yaşamı olumsuz yönde etkiler. Keza, aynı ortamda birden fazla mantar türünün bulunması halinde, farklı türler arasında yarışma şeklinde etkileşimler başgösterir; sonuçta bir tür diğerine baskın hale gelebilir (24).

Mikotoksinler vücudun organ ve dokularında bozukluklar meydana getirirken en çok karaciğeri etkilerler; bunun yanında, böbrekleri, sinir ve kasları, sindirim sistemini, deriyi, solunum sistemini ve üreme sistemini etkilerlerken bazılarının teratojenik ve karsinojenik etkileri de vardır (4).

I. Küflenme Olayının Önlenmesine Yönelik Uygulamalar

I.1. Tarla Şartlarında Mantar İstilasının Kontrolü: Tarla şartlarında, hasattan önce ürün iç ve dış etkilerle böceklerin hücumuna uğrar; özellikle insektler tarafından yol açılan mekanik zedeleme ve diğer artropodlar büyük ölçüde mantar infestasyonundan sorumlu unsurlardır. Üründe mantar bulaşmasını önlemek amacıyla,

hasat öncesinde koruyucu amaçla bazı maddeler (captan, thiram, zineb, propiyonik asit, aseptik asit gibi) kullanılabilir (11).

Ürünün tarlada iken kimyasal maddelerle gübrenmesi de küflenmeyi azaltabilmektedir. Örneğin, yapılan bir çalışmada buğday üre ile gübrenmiş ve neticede *Fusarium greminearum* bulaşmasında önemli bir azalma olduğu belirlenmiştir (25).

Tarlada yapılacak inceleme ile üründeki küflenme olayı gözlemlenebilir. Özellikle *Aspergillus flavus* ile bulaşık yer fıstıklarında gözle görülebilecek değişiklikler meydana gelir. Bu durumda, kirli kısımlar ayıklanarak yüksek yoğunluktaki kimyasal maddelerle muamele edilir. Hasat işlemi sırasında da ürünün küflü kısımlarıyla sağlam olan kısımlarının karışmaması için gereken özen gösterilmelidir. Renk yönünden kirli kısımların tespit edilip uzaklaştırılması şeklindeki bu işlem yer fıstığı, kahve, çilek, böğürtlen gibi küçük çekirdekli ürünler için geniş kullanım alanına sahiptir. Bu amaçla elektronik cihazlar kullanılabilir gibi elle de bu işlem gerçekleştirilebilir. Özellikle darı ve buğdayda ergotla bulaşma sık sık görülebilir. Bunun önlenmesinde yüzdürme tekniği kullanılabilir; burada tanelerin sodyum klorür çözeltisinde asılı kalmalarıyla ayrılma işlemleri yapılabilir. Bu yöntemle, özellikle ergot sclerot'ları, sağlam olanlardan daha hafif olduklarından, ayıklanabilirler. Tarlada da, yabancı otların ayıklanıp uzaklaştırılması gerekirken, bir önceki hasat dönemine ait bitki kırıntıları ve döküntüleri de mantar bulaşması açısından potansiyel tehlike oluşturur. Toprağın sürülmesi sırasında yapılan işlemler bu artıkların açığa çıkmasına ve hızla mikrobiyal bozulmaya sebep olur. Kanatlılar tarafından başaklarda meydana getirilebilecek olan zarar da küf ve insekt invazyonlarını kolaylaştırır (11, 15).

1.2. Ürünün Hasat Edilmesi ve Kurutulması: Küflenme ve mikotoksin oluşumunu engellemek için; ürün tam olarak olgunlaşınca hasat edilmeli; hasat esnasında üründeki mekanik hasar oluşturulmamalı; özellikle rutubet oranı yüksek bölgelerde hasat edilmiş ürün derhal kurutulmalı ve sonra havalandırılması sağlanmalıdır. Mantarlara karşı ürünün korunması yönünden kurutma işlemi son derece önemlidir. Hasat sırasında hububat veya yağlı tohum küspeleri depolama için gerekli olandan daha yüksek oranda rutubet içerirler. Hasat yapılan yerlerde ürünün hava yardımıyla kurutulması sonucu mantar üremesi önlenebilirken, hava rutubetli ise ciddi problemler meydana gelebilir. Bu durumda ürünün kurutulması, sorunun çözümünde en önemli faktördür. Kurutma işlemi sırasında

sıcak havaya maruz kalma ile üründeki oluşabilecek mekanik hasar ve niteliğinde bzulmalar önlenmelidir. Normalde yapılan uygulama ürünü zemine sermek ve güneş ışığı ile hava ceryanı altında kurumasını sağlamak şeklindedir. Bir örnek kuruma için ürünün sık sık karıştırılması gerekir. Doğal kurutma olayına tütsüleme tarzında gazların ilave edilmesi iyi sonuç verir. Yer fıstığında yapılan uygulamalarda, hasat sonrası dönemde, fumigantların kullanılması ile saprofitik nitelikteki mantarlar kontrol altına alınabilir. Amonyak ve fosfin bu amaçla en fazla kullanılan maddelerdir (3, 11).

Arazi şartlarında, 50 mg fosfin ile 50 mg amonyak (her litre için) fungisidal etkiyi sağlamada yeterli olmaktadır. Bu düzeydeki karışım spor şekillerine etki etmezken litreye 200 mg ilave edilmesi mantar gelişmesini durdurur. Depolama sırasında *Aspergillus flavus*'un kontrolü amacıyla, yine bu grup kimyasal maddelerden amonyak ve propionik asit kullanılmaktadır. Yüksek rutubet içeren mısırların korunması amacıyla kullanılan toz halindeki linden, insekt hasarını önleyerek ve bunun sonucunda mantar gelişmesini engelleyerek etkili olabilmektedir. Yağmurlu ve bulutlu havalarda, yukarıda belirtildiği gibi, ürünü, güneşe sermek suretiyle, istenen zaman içinde, güvenli rutubet düzeyine indirmek mümkün olmaz; bu durumda farklı metotlar uygulamak gerekir. Çeşitli ülkelerde, ürünün kurutulması amacıyla doğal hava akımı veya sıcak hava tazyiki kullanılmaktadır. Mikotoksinlerle kirlenme yönünden önemli bir ürün olan yerfıstığında şu şekilde bir kurutma yöntemi uygulanmaktadır. İki aşamalı olan bu yöntemde öncelikle, toplanan ürün tarlada kurumaya bırakılır. Şartların iyi olması durumunda %20 civarında bir rutubet düzeyine kadar düşme sağlanır. Bu amaçla, ayrıca, yerden yaklaşık 0.5 metre yüksekliğindeki platformlardan da yararlanılabilir. İkinci aşamada ise kullanılmayacak kısımları ayıklanmış olan ürün çiftliklerde toplanır. Burada da genellikle düzenli aralıklarla karıştırmak suretiyle, kuru bir yere serilen ürün güneş ışığına maruz bırakılır. Son yıllarda ise bu amaçla güneş ışığı yerine sıcak havanın püskürtülmesi uygulamaları yapılmaktadır (6, 11).

1.3. Depolama Sırasında Yapılacak Uygulamalar: Depolanmış tohum ve taneler için küflenme tehlikesi oluşturabilen nem oranı; depolama başlangıcından sonra geçen gün sayısı ve depo yerindeki çevre sıcaklığı gibi üç önemli faktör rol oynar. Güvenli bir depolama için nem oranının düşürülmesi en başta ürünün besin kalitesinde kazanca neden olur. Zira, yemin niteliğini belirleyen yağ, karbonhidrat, protein gibi unsurlar kuru madde içinde yer alır. Bu yüzden

yemde rutubet düzeyinin artışı, kuru madde miktarında azalmaya dolayısıyla besin değerinde düşmeye yol açar. Nem oranı yüksek taneler, bakteri ve mantarların üremesi için düşük nemli tanelerden daha uygundur. Besin değerindeki bozulma yanında, bakteri ve mantarlara bağlı olarak oluşabilecek zehirlenme riski de önemli bir sorunu teşkil eder (10).

Depo ortamındaki rutubet ve sıcaklık devamlı şekilde ölçülerek kaydedilmelidir. Güvenli bir depolama için gerekli rutubet düzeyleri şöyledir: yerfıstığında %9, mısırdaki %13.5, sorgumda %13.5 pirinçte %15, fasülyede %15'tir. Eğer rutubet düzeyleri bu değerlerden yüksek ise depolamadan önce ürün kurutulmalıdır. Depolanacak ürünlerdeki yabancı maddelerin (olgunlaşmamış taneler, saman halindeki işe yaramaz kısımlar, yabancı otlar, ince kum ve taşlar) mümkün olduğunca üründen uzaklaştırılması gerekir; böyle, yabancı maddelerin oranı %10'u geçmemelidir. Depolarda ürüne zarar verebileceği göz önünde tutularak kemirici hayvanlara karşı önlemler alınmalıdır. Bu amaçla uygun rodentisid ilaçlar (fosfin etilen dibromür, metil bromür) kullanılabilir (11).

Depolanacak yem ve yem hammaddeleri silo ve depo yerlerine konulmadan önce bu besinler çok iyi temizlenmiş olmalıdır. Boş silo ve depo yerleri ekseriye tabanda toz ve küflenmiş kalıntılar ihtiva eder. Bu nedenle, böyle depoların önceden temizlenmesi, küflü kısımların imha edilmesi veya yakılması gerekir. Gerek çiftçilerin ve gerekse yem fabrikalarının yem maddelerini toprak zemin üzerine yığmamaları, yeme karşı izolasyon yaptıktan sonra tabanın beton zemin olmasına özen göstermeleri gerekir. Yem maddelerinin daima tahta ızgara üzerine yığılması, iki palet üzerine üstüste bir tondan fazla yem çuvalı konmaması, yığınlar arası hava sirkülasyonu için aralık bırakılması gerekir (10).

Yemlerde meydana gelebilecek bozulmalar ve buna bağlı olarak ilk etapta düşünülebilecek mantar bulaşmasını önlemek amacı ile, yemlere öteden beri bazı koruyucu maddeler katılmaktadır. Koruyucu maddelerin kullanımı bir çok yem üreticisi için yıllardır olağan hale gelmiştir. Almanya'da karma yemlerin %35'i, Belçika'da %25'i bu maddelerle işlem görmektedir. Bakteri ve mantarların gelişmesini durduracak uygun katkı maddeleri kullanılarak, hayvan yemlerinin dayanıklılığı sağlanırken, neticede, sadece yemlerin bozulmasının önlenmesi değil, aynı zamanda bu gibi bozulmalardan sorumlu mikroorganizmalar tarafından toksin üretiminin engellenmesi de sağlanmaktadır (3, 10).

Karma yemlerin korunmasında kullanılan için ticarete bir çok madde bulunur. Bunlar arasında propiyonik asit, laktik asit, sorbik asit gibi maddeler fazlaca kullanılır. Bu amaçla hayvanlar tarafından iyi tahammül edilen ve kalıntı bırakmayan maddeler tercih edilmelidir. Buna göre en uygun madde propiyonik asittir. Saf haldeki asit, irkiltici, kokulu bir sıvıdır ve yakıcı-dağlayıcı etkisi yoktur. Fakat, propiyonik asit tuzları (sodyum ve kalsiyum propiyonat) irkiltici ve kokulu değildirler ve toz haline getirildiklerinde çok kolay kullanılırlar. Bozulmalardan sorumlu bakteri ve mantarlardan ekserisinin gelişmesini durdurmak ve bozulabilecek bir ürünü, elverişsiz depolama şartlarında dahi, aylarca korumak için %0.3 düzeyinde propiyonik asit yeterlidir. Silaj yapılan yemlere katıldığında bile, sonradan hava girmesi durumunda bozulmalara engel olmaktadır. Yukarıda sayılan etkilerinden başka, üründe hiç bir kalite düşüklüğü yapmaması da önemli bir özelliktir (10, 20).

Karma yemlerin küflenmeye karşı korunmasında önerilen pek çok antifungal madde arasında özellikle kalsiyum propiyonat en basit ve en ucuz olanıdır. Karma yemlerdeki nem düzeyi %12'nin üzerine çıkmıyorsa, 4 haftalık bir depolama süresi için 1 ton yeme 2.5 kg kalsiyum propiyonat katılması yeterli görülmektedir. Şayet, depolama süresi daha uzun olacaksa, kullanılacak miktar 3-4 kg'a kadar yükseltilebilir (10).

Karma yemin nem oranı yukarıda bildirilenden biraz daha yüksek olsa bile, yine aynı antifungal madde kullanılabilir; fakat, nem içeriğinin yüksek olmasının böyle maddelerin kullanımını sınırlayıcı bir etmen olduğu bilinmelidir (10, 20).

Tek çeşitten asit veya baz tuzları (propiyonik asit, benzoik asit, laktik asit, sorbik asit) kullanılarak yapılan uygulamalarda mantarların biyotiplerinde değişiklikler oluşarak dirençli tiplerin ortaya çıktığı görülmektedir. Bu nedenle, farklı asitlerden meydana gelen karışımlar geliştirilmiştir. Tek asit veya onların tuzlarını kullanmak yerine, daha çok, yukarıda sözü edilen dört asidin karıştırılarak uygulanması tavsiye edilir (8).

Konservasyon amacıyla formik asit kullanılması uygun bir seçenek değildir. Yapılan bir çalışmada (2) ineklere formik asitle korunmuş tahıl yedirilmiş ve sonuçta, sütlerinde aflatoksin bulunduğu anlaşılmıştır. Bazan, aflatoksin düzeyi 50 ppb'ye çıkabilmektedir.

Tablo 1. Amonyaklama işleminden önce ve sonra ürünün kalitesinde meydana gelen değişiklikler
Table 1. Change in the nutritive value of feed before and after ammonization

Örnek		Toplam nitrojen	Ham protein	Ham yağ	Nem	Tuz
Başlangıçtaki ürün	1	2.76	17.25	3.50	9.50	0.5
	2	3.09	19.31	3.62	15.20	0.5
Son ürün	1	2.11	13.18	3.00	8.25	0.5
	2	2.38	14.87	2.95	14.00	0.5

1. Amonyklamadan önce
2. Amonyklamadan sonra

1.4. Ürünün Taşınması Sırasında Dikkat

Edilecek Hususlar: Ürünlerin şehir merkezlerine, kırsal kesimlere veya fabrikalara taşınmalarında demiryolu, karayolu, su taşımacılığı gibi yollardan yararlanılırken, taşıyıcı araçlarda bir infestasyon durumu varsa, bu durum taşınacak ürün için kirletici kaynak olarak bir risk teşkil eder. Bu yüzden, böyle araçlar boş iken düzenli olarak uygun pestisidlerle muamele edilmeli veya fumigasyonu yapılmalıdır; ayrıca, yükleme yapılmadan önce taşıyıcılardaki kalıntı ve artıklar uzaklaştırılmalıdır. Taşınma esnasında hava rutubetli ve yağmurlu ise veya taşıma su yoluyla yapılıyorsa, böyle durumlarda ürünün nem kapma sorunu ortaya çıkar. Bu yüzden, özellikle depolanmadan önce ürünün güvenli rutubet sınırlarına kadar kurutulması sağlanmalıdır. Ayrıca, böyle ortamlarda yapılacak taşıma esnasında ürünün nem kapmasının önlenmesi için, katranlı muşambalar ve hava geçirmez sistemler kullanılmalıdır. Gerek ambalajlamada gerekse, diğer amaçlarla taşıma sırasında kullanılacak materyaller insektlere karşı dayanıklı nitelikte olmalı ve ayrıca, kimyasal maddelerle muamele edilmelidir (11).

1.5. Mantarların Kimyasal Yolla Kontrolü: Nemli yerlerde mantarların kontrolü amacıyla birçok kimyasal madde denenmiştir. Bunlar arasında aureofungin, thiram, captan, ortofenilfenat, bordo bulamacı ve organik asitler (propiyonik asit, sorbik asit, asetik asit ve benzoik asit) ve tuzları yer almaktadır. Mantarların üremesini önlemek amacıyla bakır sülfat da kullanılmıştır. Ancak, bu madde yan etkileri nedeniyle pek çok yerde terkedilmiştir; bakır sülfatın dozu tam ayarlanmadığından istenmeyen etkiler gösterebilmektedir. Mantarlara karşı kullanılan diğer bir antifungal madde de jansiyan morudur. Bu madde *Aspergillus*'ların üremesini durdurur. Fakat, *Fusarium roseum* ve *Fusarium cerealis*'e etki edemez. Bu nedenle, bazı Avrupa ülkelerinde kullanımı terkedilmiştir (8, 11).

Kimyasal kontrol amacıyla kullanılan bir diğer madde de sıvı amonyaktır. Ancak, bu pahalı bir uygulamadır. Ayrıca, bu işlem sırasında bazı istenmeyen teknolojik problemler de görülür; örneğin mısır rengini kaybederek kahverengileşir. Bir başka yan etkisi de, ürüne keskin bir koku vermesidir; bu durumda ürünün hayvanlar tarafından tüketilmesi güçleşir. Bunun yanında, yüksek yoğunluktaki amonyak, uzun süre depolanacak ürüne atmosferik nemi çekerek rutubet düzeyinde artmaya neden olur. Bütün bu olumsuz faktörlere rağmen, bugün için üçüncü dünya ülkelerindeki küçük ve orta ölçekli çiftliklerde bu kimyasal madde hala kullanılmaktadır. Depolama şartlarının iyi olması ve kurutma olayına dikkat edilmesi durumlarında, aflatoksin ile bulaşık ürünlerde amonyaklama işlemi aflatoksin düzeyinde iz miktarlara kadar azalma sağlayabilmektedir. Bu işlem sonucunda besinin besleyici kalitesinde de değişiklikler şekillenmektedir. Bu uygulamalar Tablo 1'de özetlenmiştir (14, 19).

Mitotoksinlerin yıkımlanması amacıyla oksitleyici maddeler de kullanılmaktadır. Bu gruptan maddeler arasında başlıca hidrojen peroksit, ozon, sodyum bisülfid ve sodyum metabisülfid bulunur (1, 9). Bu amaçla sodyum bisülfid deoksinivalenol (DON) ile bulaşık mısırlarda denenmiş ve iyi sonuçlar alınmıştır. Bu denemede (9) DON ile bulaşık mısır önce sıvı sodyum bisülfid ile muamele edilmiş, serbest DON düzeylerindeki azalma ile optimum şartlar belirlenmiş ve yapılan denemelerde gıda tüketimi ve canlı ağırlık kazançları üzerinde (domuzlarda) sodyum bisülfidin etkileri gözlenmiştir. DON düzeyindeki en büyük azalma (%95'in üzerinde) %8.33'lük sıvı sodyum bisülfidin (600 mg/kg mısıra) bulunduğu ortamda bulaşık ürünün bir saat süreyle 121 C de otoklav edilmesiyle başarılmıştır. Aynı çalışmanın sonuçları gıda tüketimi ve canlı ağırlık kazançları yönlerinden değerlendirilmiştir. 7.2 mg/kg düzeyinde DON içeren besinlerin tüketilmesiyle canlı ağırlık kazancı ve gıda tüketiminde azalma meydana gelirken ürünün sodyum bisülfid ile muamelesi so-

Tablo 2. HSCAS uygulamasının sütte AFM₁ yoğunluğuna etkileri
Table 2. The effects of HSCAS on AFM₁ concentration in the milk.

Diyetteki AFB ₁ yoğunluğu (µg/kg)	Sütteki AFM ₁ yoğunluğu (Ng/L)			Birim miktar azalma	Azalma (%)
	Dönemler				
	1	2	3		
Faz 1 (200, %0.5 HSCAB)	1.85	1.44	1.99	0.44	23.70
Faz 2 (100, %1.0 HSCAS)	0.91	0.51	0.90	0.40	43.60

Dönem 1: AF var, HSCAS katılmamış

Dönem 2: AF var, HSCAS ilave edilmiş

Dönem 3: AF var, HSCAS katılmamış

nucu bu olaylarda düzelme gözlenmiştir. Sodyum bisülfid ile muamele işleminin zehirliliği yönünden de çalışmalar yapılmıştır. Sonuçta, yapılan işlem neticesi ortaya DON sülfonat bileşiğinin, sindirim kanalında irkiltiye neden olabileceği ve kusma meydana getirebileceği belirtilmiştir. Kronik yönden ise herhangi bir risk söz konusu değildir.

Mikotoksinlerin yıkımlanması için kullanılan maddeler arasında bağlayıcı özellikte olanlar önemli bir yer tutmaktadır. Bağlayıcı maddeler arasında hidrate sodyum kalsiyum alüminyum silikat (HSCAS) fazlaca kullanılır. Aflatoksinlerin yıkımlanması için yapılan çalışmalarda HSCAS ile aflatoksinlerin birleşerek sabit bir yapı haline geldiği ve bunun da sindirim kanalından emilmeden geçtiği gösterilmiştir. Bu maddenin kullanılmasıyla yapılan çalışmada (13), diyetlerinde HSCAS bulunan ineklerin sütlerinde AFM₁ yönünden azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu azalma yeme katılan HSCAS'ın miktarına bağlı olarak %44'e kadar çıkmaktadır. Bu konuya ait çalışmanın sonuçları Tablo 2'de görülmektedir.

Aflatoksinlere en duyarlı türlerden biri olan hindilerde, toksinin gerek canlı ağırlık kazancı, gerek besin tüketimi ve gerekse de organ görevleri üzerindeki olumsuz etkileri HSCAS ile azaltılabilmektedir. Benzer bir çalışmada (17), aflatoksin ve T-2 toksin ile kombine halde yapılmış ve sonuçta, bu iki maddenin özellikle canlı ağırlık kazancına yönelik olumsuz etkileri gerilemiştir. Bu çalışma sırasında aflatoksin 3.5 mg/kg, T-2 toksini de 8 mg/kg miktarlarında kullanılmış ve 7'şer günlük beslenme aşamalarına tabi tutulan etlik piliçler, %0.5'lik HSCAS'ın etkisiyle söz konusu maddelerin canlı ağırlık kazancına yönelik olumsuz etkilerinden korunmuştur. HSCAS ile muamele edilmiş grupların mikroskopik bakışında aflatoksinlerin karaciğer, dalak, böbrek, bursa Fabricius üzerindeki

lipidozis, safra yollarında hiperplazi, erken periportal fibrozis, bursa Fabricius'un lenfoidal folliküllerindeki piknotik çekirdeklerde artma şeklindeki etkileri görülmemiştir (17, 18).

Bağlayıcı maddeler grubunda değerlendirilebilecek bir diğer madde de bentonittir. Ratlarda T-2 toksininin etkisini önlemek amacıyla yapılan bir çalışmada (7), bentonit, %10, %7.5, %5 ve %2.5 oranlarda 3' g/kg T-2 toksin içeren diyetlere ilave edilmiştir. Toksinin neden olduğu büyümenin gerilemesi ve besin tüketimindeki azalma durumları bentonitin etkisiyle önemli derecede azalmıştır. Bentonit ve diğer besleyici olmayan polimerler (kolestiramin, divinilbenzene sytrene, vermikulit hidrobromür vb) mikotoksinin sindirim sisteminden emilimini azaltmakta ve dışkıyla atılımını artırmaktadırlar; bu durum aflatoksinler üzerinde de gösterilmiştir. Bu çalışmada 3' g/kg T-2 toksini içeren diyetlere %10 oranında ilave edilen bentonit ile en iyi sonuçlar alınmıştır.

Bağlayıcı bir madde olarak değerlendirilen polivinilpirrolidon ile amonyum karbonat DON ile bulaşık ürünlerde denenmiş ve sonuçta domuzlarda toksinin etkilerinin azaldığı gözlenmiştir. Bağlayıcı maddelerin etkisi zearalenon üzerinde de denenmiştir. Bu gruptan bir madde olan alfalfa, bulaşık yemlere katılmıştır. Etkili bir yıkımlama sağlamamakla beraber alfalfa ipilikçikleri zearalenon'un etkilerinde gerileme meydana getirmiştir (25).

Mikrotoksinler arasında önemli bir yeri tutan okratoksinlerin yıkımlanması amacıyla yapılabilecek uygulamalar da şu şekilde özetlenebilir. Okratoksin A (OA) ile bulaşık arpa üzerinde amonyak ve NaOH'in etkisi araştırılmış ve bulaşık ürüne %5 Amonyak 96 saat süreyle 70 C'de veya %0.5 NaOH 105 C'de uygulanmış ve 132 C'de 30 dakika otoklav edilerek, sonuçta besin değerinde az bir kayıp ile OA'nın

yıkımlanması sağlanabilmiştir. Bu sayede OA'nın canlı ağırlık kazancını azaltmadaki etkilerinin önlenmesi yanında, diğer küflerin gelişmesinin engellenmesi de gerçekleştirilmiştir. OA'nın yıkımlanması amacıyla, lakotbasillus türleri de OA ile bulaşık ürüne inokule edilerek denenmiştir. Sonuçta OA'nın yoğunluğunda %50'lik bir azalma sağlanmıştır. Buna rağmen, bu işlem ile OA'nın etkisinde bir azalma olmamıştır. Depolama sırasında zehir organik bir matrikse bağlı şekilde veya tespit edilemeyen miktar ve ürünlere dönüşmüş şekilde bulunabilir. Laktobasillus türleri tarafından sentezlenen enzimler de, OA'nın zehirliliğini engelleyecek olan amid bağının hidrolizini gerçekleştiremez ve sonuçta zehirlilikte istenilen düzeyde bir azalma sağlanamaz (6, 21).

Okratoksinlerin yıkımlanması için sodyum kalsiyum alüminyum silikat, bentonit, kömür ve kolestiramin gibi bağlayıcı maddeler de kullanılmaktadır. Etkin kömürün bulaşık diyetlere %1 oranında ilave edilmesi, kanda OA'nın yoğunluğunun azalmasına neden olurken, %10 oranında kömür OA yoğunluğunu (kan, karaciğer, böbrek, dalak ve kalp'te) %50-80 kadar azaltmaktadır. İnsanlarda safra tuzları üzerinde etkili olan kolestiramin de OA'nın emilimini azaltarak etkili olmaktadır. 1 mg/kg OA içeren ratların diyetlerine %0.5 oranında kolestiramin ilave edilmesiyle OA'nın kandaki yoğunluğunda %50'lik bir azalma sağlanabilmektedir. Ratlara bulaşık yem ile beraber kolestiramin de verilmesi OA'nın idrarla atılmasını azaltırken (26 "g'dan 6 "g'a), dışkıyla atılmasını artırmaktadır (8 "g'dan 38 "g'a). OA'nın zehirliliği üzerinde fenilalanin ve protein yapılarındaki etkileşmenin de önemli rolü vardır. Fenilalanin, iki enzim sistemini etkileyerek, OA'nın etkisinde azalmaya, ama, bunun yanında protein sentezinde bozulmaya yol açar. Bu enzimler, *fenilalanil-tRNA sentetaz* ve *fenilalanin hidrosilazdır*. OA içeren hücre kültürlerine fenilalanin ilave edilmesiyle, protein sentezinde inhibisyona kadar giden bozukluklar şekillenir. Fenilalanin OA'nın bağışıklık sistemini baskılayıcı etkisini azalttığı gibi, ratlarda OA'nın teratojenik etkilerini de kısmen önlemektedir. Bunun yanı sıra, pahalı bir uygulama olmasına rağmen, diyetlere protein ilave edilmesi de toksinin etkisini önlemede rol oynar. Diyetteki protein oranının %26'ya çıkarılması 4 mg/kg'lık düzeydeki OA'nın toksik etkilerini önlemektedir. Okratoksinlerin metabolizmasında gerek gevişenlerde ve gerekse diğer hayvanlarda mikroorganizmaların da rolü vardır. Özellikle gevişenlerde önemli olan bu durum sayesinde, OA mikroorganizmaların etkisiyle okratoksin-alfa'ya dönüşür. Bu olayda, mikroorganizmalarla beraber, diyetin içeriği de önemlidir. Kuru otlarla beslenen hayvanlardan toplanan rumen sıvısı (pH'sı 7,0)

invitro şartlarda OA'yı hidrolize ederek okratoksin-alfa'ya dönüştürmektedir. Bu olay tane yemle beslenen hayvanlardan alınan rumen içeriğinin (pH 5,5) etkisiyle karşılaştırıldığında, 5 kat daha hızlıdır. Gevişenler dışındaki hayvanlarda ise barsak mikroflorası OA'nın zehirliliği üzerinde etkilidir; burada kalın barsakların ve özellikle kör barsak mikroflorası etkilidir. Okratoksinlerin etkilerinin önlenmesinde, etki mekanizması tam olarak bilinmemekle beraber, askorbik asidin de etkili olduğu gösterilmiştir; 3,0 mg/kg OA içeren diyetlere 300 mg/kg düzeyinde askorbik asidin katılmasıyla OA'nın zehirliliği, yumurta veriminde, plazmanın sodyum, kalsiyum ve klor yoğunlukları üzerindeki olumsuz etkileri kısmen önlenmektedir (21).

II. Fiziksel ve Kimyasal Metotlarla Aflatoksinlerin Yıkımlanması

Aflatoksinler arasında en güçlü etkili olan AFB₁'in moleküler yapısı fiziko-kimyasal ve biyokimyasal olarak incelendiğinde, toksikolojik etkiden sorumlu iki önemli yapıdan söz edilebilir. Birinci yapı, furan halkasında bulunan 8 ile 9 uncu karbon atomları arasındaki çift bağıdır. Aflatoksin ile DNA ve protein yapıları arasındaki etkileşme bu yapıdan kaynaklanır ve sonuçta hücresel düzeyde zararlı etkiler ile biyokimyasal fonksiyonlarda değişimler meydana gelir. İkinci yapı ise koumarin türevlerindeki lakton halkasıdır. Aflatoksinlerin yıkımlanmasında etkili olan bu yapı kolaylıkla hidrolize olabilir niteliktedir. Yıkımlanma olayı, furan halkasındaki çift bağıın doyurulmasıyla veya lakton halkasının hidrolize olup açılmasıyla gerçekleşir. Buradaki değişiklikler önce lakton halkasında başlar ve sonra furan halkasının çift bağı doyurularak toksinin yıkımlanması sağlanır (22).

Aflatoksinlerin yıkımlanması amacıyla bu güne kadar yapılan çalışmalarda şu yöntemler kullanılmıştır; ısı, peroksitler, ozon ve diğer oksitleyici maddeler, asit ve alkalilerle muamele, ışınlama ve belirli mikroorganizmalar. Fiziksel metodlarla aflatoksinlerin yıkımlanmasında en önemli yeri ısı uygulaması tutar. Saf ve susuz şekildeki aflatoksinlerin, ergime noktalarına kadarki sıcaklıklara dayanıklı oldukları bilinmektedir. AFB₁ kuru havada dayanıklıdır: ergime noktası 260 C'dir ve 269 C'de yıkımlanır. Yerfıstığı ve mısır yağlarında 250 C'ye kadar AFB₁ miktarında değişiklik meydana gelmeyebilir. Rafine edilmemiş yerfıstığı yağları 250 C de 10 dakika ısıtıldıklarında AFB₁ miktarı %96 oranında azalmakta, 160 C'de 30 dakika kavru lan yerfıstıklarında ise 100 ppm'den 5 ppb'ye düşmektedir. Yemlerde aflatoksinler bakımından önemli bir kirlenme kaynağı olan mısırdan,

145-165 C'de kavrulma işleminden sonra AFB₁ yoğunluğu %40-80 azalmaktadır. Doğal olarak bulaşık mısırlarda AFB₁'in %28'i haşlama ve yağda kızartma işleminden sonra parçalanmaktadır (5, 22).

Saf haldeki aflatoksinler, sulu çözeltilerde, 120 C'de 4 saat otoklav işleminden sonra floresans vermeyen türevlere dönüşürler. Sulu çözeltilerde AFB₁ miktarında 120 C'de 20 dakika otoklav işleminden sonra %20 azalma olabilmektedir. Aflatoksinlerin sulu çözeltilerde laktone halkasının açılması ve dekarboksilasyon gibi hidrolitik olayların etkisiyle, ısıya karşı dayanıklılığının azaldığı bilinmektedir. Ekmeğin pişirilmesi sırasında uygulanan ısı işleminin aflatoksinlerin parçalanmasına yeterli olmadığı, buna karşın hamur yapımında özellikle yoğurma işlemi sırasında, muhtemelen oksidatif veya hidrolitik olaylar nedeniyle, aflatoksin miktarında önemli bir azalma olabilmektedir. Pastörizasyon ve sterilizasyon işlemleri sırasında ise sütlerde aflatoksinlerin kısmen yıkımlanmaya uğradığı gözlenmiştir. Bu yıkımlanma (%22-28) daha çok sterilizasyon işleminde ortaya çıkmaktadır (5).

Yıkımlanma için etkili bir yöntem olan ısıyla muamele işleminde, yüksek sıcaklıklara kadar çıkılırsa, besinin organoleptik kalitesinde ve besleyici özelliklerinde değişikliklerin olabilmesi söz konusudur. Aflatoksinlerin yıkımlanması amacıyla yapılan bir başka yöntem de ışınlama işlemidir. Bu konuda yapılan çalışmalar, ışınlamanın hem *Aspergillus* türü küfler ve aflatoksin oluşumuna etkisi ve hem de mevcut aflatoksinleri yıkımlayıcı etkisi üzerinedir. 0,1-0,5 KGy dozlardaki ışınlama *Aspergillus flavus*'un aflatoksin meydana getirme yeteneğini etkilemediği bilinmektedir. Işınlama olayında en etkili olan ve en çok kullanılan gamma ışınlarıdır. Gamma ışınlarıyla yapılan yıkımlamada da doz ayarlaması önemli bir konudur. Düşük dozda uygulanan gamma ışınları *Aspergillus* türü mantarların üremesini hızlandırmaktadır. 0,1 Mrad'lık doz uygulaması ile ekmek ve diğer besinlerde aflatoksin üremesi teşvik edilirken, 0,3-0,4 Mrad'lık dozlar toksinlerin şekillenmesini ve küflerin gelişmesini engeller. Besinlerin gamma ışınlarına maruz bırakılması sırasında ışınlama süresi uzarsa, bu durumda zehirli yıkımlanma ürünleri de oluşabilir. Gamma ışınları ile H₂O₂'in birlikte uygulanması sonucu mikotoksinler daha iyi yıkımlanabilmektedirler. Bu durumun, ortaya çıkacak serbest O₂ gruplarıyla aflatoksin molekülünün tepkimeye girmesinden kaynaklandığı düşünülürse de, konuyla ilgili net bir görüş yoktur (5, 22).

Aflatoksinlerin yıkımlanması amacıyla ultraviyole ışınları (UV) ve güneş ışığı da kullanılır.

Bu durumda solar yıkımlamaya karşı hassas olan furan halkasında değişiklikler meydana gelir ve çift bağda açılma şekillenir. UV ışınların kullanılması sonucu, aflatoksin molekülünde kopmalar meydana gelerek, 12'nin üzerinde yıkımlanma ürünü oluşur. Ayrıca UV ile muamele sonucu gıda maddelerinde oksidatif değişiklikler ve kalitesinde bozulmalar da meydana gelir. Aflatoksinlerin yıkımlanması amacıyla güneş ışınları özellikle ürünün kurutulması aşamasında etkili olmaktadır (5, 11, 22).

Aflatoksinlerin yıkımlanmasında kullanılan kimyasal maddelerin başlıcaları; klorlaştırıcı maddeler (sodyum hipoklorid, klordioksit, gaz halindeki klor); oksitleyici maddeler (hidrojen peroksit, ozon ve sodyum bisülfid) ve hidrolitik maddeler (asitler ve alkaliler)'dir (22).

Klorlama: Sıvı haldeki klor, özellikle ekipman sanitasyonunda, gaz halindeki klor ise ağartıcı ve oksitleyici bir madde olarak endüstride kullanılmaktadır. Bulaşık yüzeyler ve cam malzemeden aflatoksinlerin uzaklaştırılması amacıyla, ilk olarak sodyum hipoklorid kullanılmıştır. Bu maddenin aynı zamanda besinler üzerinde de etkili olduğu bildirilmiştir. Klorlama işlemi, %0,2, %1, %5 veya %11 sodyum hipoklorid, %3 perklorik asit ile veya %10'luk klor gazı ile yapılmaktadır. Klorlama işlemi sonucu ortama salınan hipoklorid anyonları veya hipokloroz asit güçlü bir klorlaşma veya oksitleme meydana getirir. Tepkime sırasında pH asit nitelikte ise klorlaşma olayı oksitlenmeye göre daha güçlü olarak ortaya çıkar. Bu olay sonucunda AFB₁, 8,9-dikloro- ve 8,9-dihidroksi-AFB₁'e dönüşür. Burada ilka ürün olarak ortaya çıkan 8,9-dikloro-AFB₁ karsinogenik etkilidir; ancak, stabil değildir ve hidrolize olarak 8,9-dihidroksi-AFB₁'e dönüşür. Hidroliz olayında %5'lik aseton tepkimeyi hızlandırıcı yönde etki eder. Klorlama işleminden sonra, besinlerdeki klor kalıntıları, protein ve yağlarda, zehirliliği tam bilinmeyen, değişiklikler oluşması ve tyriptofan içeriğinde azalmalar, bu maddenin güvenilirliği açısından ciddi problemler arasındadır (5, 22).

Hidrojen peroksit: Bu madde ile muamele edilmiş ürünlerde hidrojen peroksit kalıntıları kolayca zehirli olmayan şekillere dönüşmektedir. H₂O₂ ile AFB₁'in en fazla yıkımlanması yer fıstıklarında, pH 4'te, %0,5'lik yoğunlukta, mısırdaki %3 ve %6'lık yoğunluklarda pH 9,5'da ve 30 dakika süreyle muamele ile sağlanmıştır. AFB₁ hidrojen peroksit ve sodyum hidroksit karışımı ile muamele edildiğinde, önce dihidroksi türevleri, daha sonra da suksinik asit meydana gelerek toksinin yıkımlanması sağlanır. Hidrojen peroksit %0,5 ve %0,3 yoğunluklarda, sen-

tetik maddelerde denenmiş ve mantarların gelişmesinin durdurulduğu gösterilmiştir. Buna karşılık, %0.03 ve %0.05'lik yoğunluklarınsa bu gelişmeyi artırdığı bildirilmiştir. Oksitleyici bir madde olan H_2O_2 sütte AFM_1 'in yıkımlanması amacıyla kullanılmıştır; %1 H_2O_2 + 9.5 mM riboflavin ve pastörizasyon işlemlerinin birlikte uygulanması sütteki AFM_1 'i %98 oranında yıkımladığı anlaşılmıştır (5).

Ozon: Bu madde özellikle AFB_1 ve AFG_1 'in yıkımlanması amacıyla kullanılmaktadır. Oksitleyici bir madde olan ozon, terminal furan halkasında 8-9 uncu karbon atomları arasındaki çift bağda elektrofilik bir etkiyle açılma meydana getirir. Ozon ile muamele sonucu oluşan ürünlerin ratlarda ve tavuk embriyolarına zehirliliği yoktur. Ozon, 100 C'de, 2 saat süreyle, %22 rutubet içeren pamuk tohumlarında, AFB_1 'i %91 oranında yıkımlarken, %30 rutubet içeren yer fıstıklarında 1 saat süreyle ozonun etkisine maruz bırakılma sonucu %78'lik bir yıkımlanma sağlanır. Bu işlemin en olumsuz yönü ozonun etkisiyle, protein oranında ve özellikle lizin miktarında azalma meydana gelmesidir. Bunun yanında, AFB_2 ve AFG_2 ozon'a karşı dirençlidirler. Çünkü, bunların terminal furan halkasındaki çift bağ olefinik bir yapıdadır. Bu yüzden, ozon ile normal muamele süresinde bu yapıda bozulma sağlanamaz; ancak süre uzarsa o zaman lakton halkasında açılma meydana gelebilir (22).

Bisülfıt: Gıdalar üzerine antioksidan olarak etki eden bisülfıt şarap, meyve suları, marmelat, kurutulmuş meyvalar ve diğer gıda maddelerine koruyucu madde olarak katılır. Aflatoksin molekülündeki iki etkin yapı olan lakton halkası ve terminal furan halkası bisülfıt'in etkisiyle bozulmaktadır. AFB_1 ile doğal olarak bulaşık mısırlarda %0.5 ve %2 sodyum bisülfıt ile muamele ve oda ısısında 24 saat muhafazanın AFB_1 miktarında %80-90'lık bir azalma meydana getirmektedir. Bu işlem sırasında mısırın renginde ve görünüşünde bozulmalar ortaya çıkmamaktadır. Bu olayda bisülfıt'in etkisi NH_3 ve $NaOH$ 'ten daha güçlüdür (5, 22).

Amonyak: Son yıllarda yem sektöründe, önem kazanan bir konu olmakla beraber, amonyaklama işleminin güvenilirliği bugün için tam olarak ispatlanamamıştır. Amonyaklama işlemi ile aflatoksin molekülünde meydana gelen yıkımlanma lakton halkasında hidroliz şeklinde başlar ve dekarboksilasyon ile devam eder. Sonuçta zehirli olmayan iki önemli bileşik (AFD_1 ve dihidro 4-hidroksi-6-metoksifuro [2,3-b] benzofuran) ortaya çıkar. Amonyaklama işlemi

yapılmış besinlerin yavru havyanlara verilmesiyle, ölüm oranı, canlı ağırlık kazancı, karaciğer bozuklukları, safra yollarında hiperplazi ve hücresele düzeyde nekroz olguları incelenmiş ve aflatoksikoz bulgularında azalma olduğu tespit edilmiştir. Aynı sonuçlar, hindi, rat ve farelerde de gözlenirken, inekler üzerinde yapılan çalışmalarda AFM_1 şeklinde sütte toksin tespit edilmiştir. Aflatoksinle bulaşık mısırlara %1.5 oranında katılan amonyak 12 gün içinde toplam aflatoksin miktarını 180 ppb'den iz düzeylere kadar düşürebilmekte, aflatoksinlerin alabalıklardaki karsinogenik etkilerini önlemekte ve mısırın besleyici değerinde de bir azalma meydana getirmemektedir (5, 9, 22).

Alkalilerle yıkımlama: Aflatoksinler alkalilere karşı duyarlı olup, özellikle yağların rafınasyonunda alkalilerle işlem sırasında önemli derecede yıkımlanabilmektedirler. Alkalilerle yapılan yıkımlamada, molekülün lakton halkasında hidroliz meydana gelir ve AFQ ortaya çıkar. Bu yıkımlanma işlemi devam ederek sonuçta suksinik asit meydana gelir. Bu işlem sonucu oluşacak ürünler ile kalıntıların zehirli etkileri ve besinin besleyici değeri üzerinde yeterli bilgi yoktur. Yer fıstığı, pamuk tohumu ve mısırdaki bu yöntemle yapılan yıkımlama çalışmaları vardır. %30 rutubet içeren bulaşık yer fıstığının, %20'lik $NaOH$ solusyonunda, 100 C'de, 90 dakika bırakılmasıyla, aflatoksin miktarı 111 ppm'den 17 ppm'e indirilmiştir (22). Başka bir çalışmada yerfıstığı ve pamuk tohumu unları $NaOH$, metilamin, etilendiamin veya amonyakla yüksek ısı ve basınç altında işleme tabi tutulmuş ve kirlenmenin önlendiği bildirilmiştir (5).

Alkali maddeler, aflatoksinleri yıkımlamaya yönelik etki güçleri yönünden şu şekilde sıralanabilirler: $KOH > NaOH > KCO_3 > Na_2CO_3 > KHCO_3 > NaHCO_3 > NH_4CO_3$. Kalsiyum hidroksit ile de aflatoksinler yıkımlanabilmektedir. Etkin bir yıkımlanma için şu karışımlar denemektedir: kireç + formaldehit, kireç + paraformaldehit, kireç + monometilamin. Bu şekilde alkali hidroksitler ile organik aminlerin karışımları AFB_1 'i %94-%97 oranında azaltabilmektedir (22).

Asitlerle yıkımlama: Kuvvetli asitler AFB_1 ve AFG_1 'e suyun bağlanmasını katalize etmekte ve bu suretle AFB_1 ve AFG_1 'in AFB_{2a} ve AFG_{2a} 'ya dönüşmesini sağlamaktadırlar. Bu olayda, furan halkasının 8 ile 9 uncu karbon atomları arasındaki çift bağda hidrasyon meydana gelmektedir. AFB_1 'in yıkımlanmasıyla oluşan AFB_{2a} 'nın zehirliliği AFB_1 'e göre 200

kez daha azdır. Aflatoksinlerin, tümüyle mutajenik ve zehirli olmayan ürünlere yıkımlanabilmesi için, asitlerle yapılacak işlemin yüksek basınç ve sıcaklıkta yaklaşık 12 saat süreyle uygulanması gerekir. Asitleştirme sırasında gıdaların besin değeri yönünden kayba uğraması bu yöntemin olumsuz bir yönüdür (5, 22).

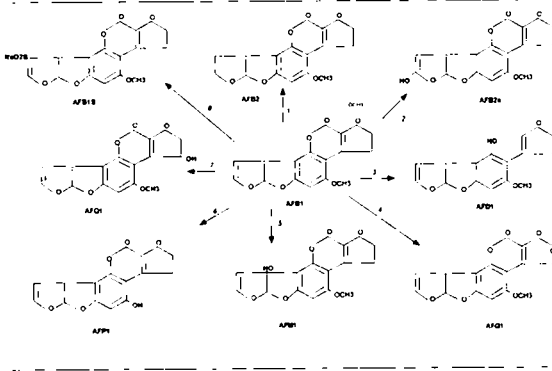
Diğer kimyasal maddeler: Bunlar arasında %75'lik metanol, %5'lik dimetamin hidroklorür, aldehytlar, benzol peroksit, osmium tetroksit, iyot, ferro amonyum sülfat, potasyum permanganat ve sodyum borat gibi kimyasal maddeler sayılabilirse de bu maddelerin kalıntularından kaynaklanabilecek olan zehirlenme riski nedeniyle kullanılmaları güvenli değildir (22).

Aflatoksinlerin yıkımlanması amacıyla kullanılan bir madde de butilli hidroksi toluen (BHT)'dir. Besin katkı maddesi olarak kullanılan ve antioksidan bir madde olan BHT, bazı maddelerin genotoksitesini ve karsinojenitesini değiştirir. AFB₁ üzerinde de, zehirin dokularda dağılımı, atılımı ve DNA'ya bağlanmasını değiştirmek amacıyla denenmiştir. Bu madde ile muamele sonucunda AFB₁ (ratlarda), daha

kolay metabolize edilerek suda kolay eriyebilir polar metabolitler haline çevrilir. Yıkımlanma olayı bazı enzimatik olaylarla beraber yürür. Önemli bir yıkımlanma olayında, AFB₁ 8,9-oksit-glutasyon bileşiği şekillenir. BHT ratlarda *glutasyon transferaz*'ın oluşumunda önemli bir role sahiptir. Bu enzim tarafından katalize edilen olaylarla toksin ile glutasyonun birleşmesi sağlanır. Bu bileşik ise *invivo* şatlarda AFB₁'in safrayla atılan metabolitidir. Yıkımlanma olayı için öne sürülen başka görüş ise şöyledir; BHT ile *epoksit hidrataz*'ın etkisinin engellenmesi ve bu sayede AFB₁ 8,9-oksidin dihidrodiole, 8,9-dihidro, 8,9-dihidroksi AFB₁'e dönüşmesi ve yıkımlanmasıdır (12). Şekil 1 ve 2'de; fiziksel ve kimyasal nedenlerle AFB₁ molekülünde meydana gelen başlıca değişiklikler görülmektedir (22).

III. Mikotoksinlerle Bulaşık Yem ve Yem Hammaddelerinin Güvenli Bir Şekilde Kullanımına İlişkin Uygulamalar

Tarımsal üretimde küflenme olaylarının önlenememesi nedeniyle, üreticinin ekonomik zararını en aza indirmek ve böyle ürünleri en iyi şekilde başka amaçlar için işlemek konusu önemli olmuştur. Uygulanan mevcut tarımsal

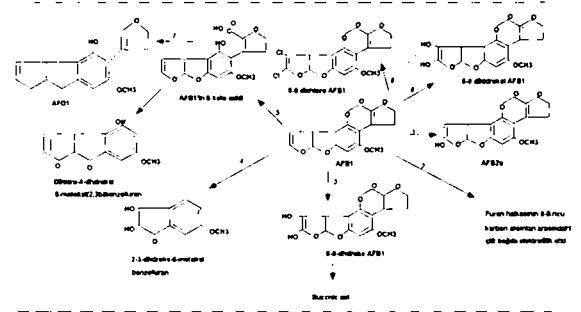


Şekil 1. Fiziksel ve kimyasal işlemlerle AFB₁ molekülünde meydana gelen değişiklikler;

1. Terminal furan halkasındaki çift bağın doyurulması,
2. Furan halkasındaki çift bağın hidratasyonu,
3. Lakton halkasının açılması,
4. Siklopentan halkasına oksijenin girmesi,
5. Fura-furan halkasına hidroksil grubunun girmesi,
6. Metoksi grubunun hidroksi grubuna dönüşmesi,
7. Siklopentan halkasına hidroksil grubunun girmesi,
8. Furan halkasındaki çift bağa sülfonat grubunun girmesi.

Figure 1. Alteration of AFB₁ molecules by processing of physical and chemical.

1. Saturation of double band at terminal furan ring
2. Hydration at double band in furan ring.
3. Cleavage of lactone ring
4. Insertion of oxygen in cyclopentenone ring
5. Introduction of hydroxyl at fura-fura ring
6. Conversion of methoxy group to hydroxy group
7. Introduction of hydroxy group in cyclopentenone ring
8. Introduction of sulfonate across furan double bound.



Şekil 2. Kimyasal maddelerle AFB₁ molekülünde meydana gelen değişiklikler;

1. Asidifikasyon işlemi,
2. Ozon ile muamele,
3. H₂O₂ ve NaOH ile muamele,
4. UV-ışınlama ve güneş ışığına maruz kalma,
5. Alkalilerle hidroliz veya amonyaklama,
6. Klorlama işlemi, 7. Dekarboksilasyon.

Figure 2. Alterations on AFB₁ molecules by chemical substances;

1. Acidification
2. Processing with ozone
3. Processing with H₂O₂ and NaOH
4. UV-irradiation and solar irradiation
5. Alkaline hydrolysis or ammoniation
6. Chlorination
7. Decarboxylation.

Tablo 3. Aflatoksinlerle kirlenmiş yem hammaddelerinin karma yemlere katılan en yüksek oranları
Table 3. Maximum added amounts of the feedstuffs contaminated with aflatoxins to mixed feeds

Aflatoksin kirlilik düzeyi	Yem çeşitleri	Son ürün	
		Katılan kirlenmiş hammadde oranı	Ortalama kirlilik düzeyi, ppm
Hafif derecede kirlenmiş (0.1 ppm'e kadar)	civciv emi ördek yemi hindi başlangıç yemi kesim öncesi hindi yemi kesim öncesi et tipi piliç yemi yumurta tavuğu yemi	katıksız katıksız katıksız en fazla %5 en fazla %5 en fazla %7.5	0 0 0 0.005 0.005 0.0075
Orta derecede kirlenmiş (0.1-1.0 ppm arası)	kesim öncesi et tipi piliç yemi kesim öncesi hindi yemi yumurta tavuğu yemi	en fazla %2.5 en fazla %2.5 en fazla %3.75	0.025 0.025 0.038
Ağır şekilde kirlenmiş (1.0-2.0 ppm arası)	tavuk yemi olarak kullanılmaz koyun yemi sığır yemi	en fazla %2.5 en fazla %2.5	0.050 0.50
2 ppm'den daha fazla	hayvan yemi üretiminde kullanılmaz		

teknikler ile mikotoksin üremesi azaltılabilmek-teyse de, düşük yoğunluklardaki toksin hayvan-sal üretim ve halk sağlığı açısından yine de teh-like oluşturmaktadır (11). Yem yada besinlerin mikotoksinle kirlenmesi durumunda iki şey söz konusudur. Birincisi toksinle bulaşık yeni kul-lanmamak, ikincisi ise böyle yem ya da besinle-ri kimyasal maddelerle muamele edip toksin içeriğini tahrip ettikten veya kabul edilebilir bir düzeye kadar azalttıktan sonra kullanmaktır. Son durumda toksin içeriği azaltılmış ürünün herhangi bir karma yeme katılacak miktarları (21, 24) Tablo 3'de gösterilmiştir. Amerika ve birçok ülkede küflenmiş yem ve yem hammad-delerinin amonyaklandıktan sonra hayvanlara verilmesi için kurulmuş pek çok fabrika vardır. Küflü yem yada besinleri kullanılabilir hale ge-tirmek için başvurulabilecek bazı uygulamalar şu şekilde sıralanabilir: Çeşitli çözücülerle mi-kotoksinle bulaşık yağlı tohum ya da benzeri maddelerden mikotoksinlerin uzaklaştırılması, elektronik seçicilerle özellikle floresans yayan fıstık ve benzeri tanelerin ayıklanması, yem ya da besinlerin otoklavda yüksek ısı derecelerinde veya güneş ışığında uzun süre tutulması.

Saha ve depolama esnasında şartlar uygun olduğu takdirde yem, tarımsal ürünler ve diğer besinlerde mantar infestasyonu ve dolayısıyla mikotoksin bulaşması olabileceği her zaman göz önünde tutulmalıdır. Bu nedenle, üretimden tüketime kadar tüm işlemler mantar gelişmesini en aza indirecek şekilde gerçekleştirilmelidir. Bu amaçla, modern tarım tekniklerinin uygu-lanması, hayvan yetiştiricilerinin kullandıkları yemleri uygun biçimde depolamaları ve sürekli şekilde kontrol etmeleri, küflü yemleri hayvan-lara vermemeleri gerekir. Hayvan yemi ve

ürünleri ile diğer besinler her kademedede ve sü-rekli şekilde mikotoksinler yönünden analiz edilmeli ve ülkemiz için kabul edilen tolerans limitlerinin üzerinde olanlar, yukarıda belirtildi-ği şekilde, ya uygun çözücülerle muamele edil-meli ya da imha edilmelidir. İhraç ve ithal edi-lecek besin maddeleri mikotoksinler bakımından mutlaka analiz edilmelidir. Ayrıca, yem ve besinlerde mantar infestasyonu ve dola-yısıyla mikotoksin oluşumunu önlemek için et-kili, ekonomik ve uygulanabilir kimyasal mad-delerin araştırılması ve bunların uygulanması gibi çalışmalar yapılmalıdır (15).

Kaynaklar

1. Adegö, G.O., Babalda, A.K. and Akanni, A.O. (1991). Effects of sodium metabisulphite, hydrogen peroxide and heat on aflatoxin B₁ in lafun and gari-two cassava products. Die Nahrung, 35: 1041-1045.
2. Anon. (1989). Küf ve mikotoksin. Çiftlik Derg. 62: 15.
3. Anon. (1989.) Karma yem konservasyonu. Çiftlik Derg. 62:8.
4. Arda, M. (1980). Mikoloji. A.Ü. Bastımevi, Ankara.
5. Berser, A. (1989). Gıda aflatoksinlerin detoksifikasyon ola-nakları. Vet Hek Dern Derg. 59:52-61.
6. Betina, V. (1989). Mycotoxins, chemical, biological and environmental aspects. Elsevier. Amsterdam.
7. Carson, M.S. and Smith, T.K. (1983). Role of bentoni-te in prevention of T-2 toxikosis in rats. J Anim Sci. 57:1498-1506.
8. Ceran, G. (1987). Karma yemlerde, yem hammaddelerinde mikotoksinler ve alınması gereken önlemler. Yem San Derg. 54:17-22.

9. **Christopher, Y.J.** (1987). *Detoxification of deoxynivalenol with Sodium bisulfite and evaluation of the effects when pure mycotoxin or contaminated corn was treated and given to pigs.* J Agric Food Chem. 35:259-261.
10. **Doğan, K.** (1987). *Hayvan yemlerinde bozulma nedenleri depolama ve mikotoksinler.* Yem San Derg. 57: 5-17.
11. **F.A.O.** (1979). *Prevention of mycotoxins.* Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food and Nutrition paper No:10. Rome.
12. **Fukayama, M.Y. and Hsieh, D.P.H.** (1984). *Effect of Butylated hydroxytoluene pretreatment on the excretion, tissue, distribution and DNA binding of [¹⁴C] aflatoxin B₁ in the rat.* Fd Chem Toxicol. 23:567-573.
13. **Harvey, R.B. Timothy, D.P. Jeffrey, A.E., Kubena L.F., Huff, W.E. and Petersen, H.D.** (1991). *Effect on aflatoxin M₁ residues in milk by addition of Hydrated Sodium Calcium Aluminosilicate to aflatoxin-contaminated diets of dairy cows.* Am J Vet Res. 52:1556-1558.
14. **Jothimahalingham, R. and Gavindan, S.** (1989). *Effect of feeding aflatoxin-contaminated diet on ammonia treatment in broiler chicken.* Indian J Anim Sci. 59: 901-902.
15. **Kaya, S.** (1989). *Yem ve besinlerdeki mikotoksinler: İnsan ve hayvan sağlığı için önemleri.* Ankara Univ Vet Fak Derg. 31:226-253.
16. **Kaya, S.** (1990). *Veteriner Toksikoloji.* Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Yayınları.
17. **Kubena, L.F., Harvey, R.B., Huff, W.E. and Corrier, D.E.** (1990). *Efficacy of Hydrated Sodium Calcium Aluminosilicate to reduce the toxicity of aflatoxin and T-2 toxin.* Poult Sci. 69: 1078-1086.
18. **Kubena, L.F., Huff, W.E., Harvey, R.B., Yersin, A.G., Elissalde, M.H., Witzel, D.A., Girou, L.E., Phillips, T.D. and Petersen, H.D.** (1991). *Effects of Hydrated Sodium Calcium Aluminosilicate on growing turkey poult during aflatoxicosis.* Poult Sci. 70: 1823-1830.
19. **Mahalingam, R.J., Govindan, S., Punniamurthy, N. and Balachandran, C.** (1990). *A study on aflatoxin detoxification by aqua-ammonia method in poultry feed.* Indian Vet J. 67: 149-151.
20. **Meronuck, A.R.** (1992). *Mycotoxins in feed.* Feedstuffs (reference issue). 64:148-151.
21. **Ronald, R., Marguardt and Andrzej A. Frolich.** (1992). *A review of recent advances in understanding ochratoxicosis.* J Anim Sci. 70:3968-3998.
22. **Samarajewa, H., Sen, A.C., Cohen, M.D. and Wei, C.J.** (1989). *Detoxification on aflatoxins in foods and feeds by physical and chemical methods.* J Food Protect. 53:489-501.
23. **Şanlı, Y.** (1989). *Küflenmiş Yem: Kullanımı, tüketimi ve sakıncaları.* Çiftlik Derg. 62:23-25.
24. **Şanlı, Y. ve Kaya, S.** (1992). *Veteriner Klinik Toksikoloji.* Medisan Yayınevi.
25. **Trenholm, H.L., Prelusky, D.B., Young, J.C. and Miller, J.D.** (1989). *A practical guide to the prevention of fusarium mycotoxin grain and animal feedstuffs.* Arch Environ Contam Toxicol. 18:443-451.