

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
İçindekiler	1
Özet	3
Giriş	4
1. Çarpma Kraterlerinin Oluşumu	6
1.1. Krater Oluşumunun Mekanîği	7
1.1.1. Basınç Evresi	8
1.1.2. Çukur(Kazılma) Evresi	8
1.1.3. Kraterin Boyutu	11
1.1.4. Çarpışma Erimesi	11
1.2. Kraterin Morfolojisi ve Tanımlanması	12
1.2.1. Basit Kraterler	12
1.2.2. Kompleks Kraterler	15
1.2.3. Krater Değişimi	16
1.3. Meteorit Çarpma Kraterlerinin Tanınması İçin Genel Kriterler	17
1.3.1. Genel	17
1.3.2. Şok Başkalaşımı(Metamorfizm)	18
2. Teoride Krater Oluşumu ve Krater Oluşum Sürecinde Açığa Çıkan Enerji Miktarının Ölçülmesi	20
2.1. Teoride Krater Oluşumu	20
2.2. Krater Oluşum Sürecinde Açığa Çıkan Enerjinin Miktarı	22
3. Deney, Gözlem ve Modellemelerden Eğimli Çarpmaların Anlaşılması	26
3.1. Eğimli Çarpışma Olasılığı	26
3.1.1. Çekimsiz Yüzeyler	27
3.1.2. Çekimli Yüzeyler	27
3.2. Eğimli Çarpmaların Deneysel Çalışmaları	28
3.2.1. Krater Şekli	28

3.2.2. Atılan Materyalin Dağılımı	30
3.2.3. Krater Yeterliliği	30
3.2.4. Atılan Cismin Son Durumu	31
3.2.5. Şok Dalgası	31
3.2.6. Spikül(Tüycük) Genişlemesi	32
3.2.7. Buharlaşma	32
3.3. Model Oluşturma Çalışmaları	33
3.3.1. İlk 2 ½D Simülasyonları	33
3.3.2. 3D Simülasyonları	34
3.3.2.1. Eğimli Çarpmalarda Şok Dalgası	35
3.3.2.2. Eğimli Çarpmalarda Erime	38
Sonuç	40
Kaynaklar	43

ÖZET

Göktaşı kraterlerinin oluşum süreçlerinin incelenmesine yönelik olarak gerçekleştirilen kuramsal ve deneysel çalışmalarla önemli sonuçlara ulaşılmıştır. Bu amaca yönelik olarak kimyasal ve nükleer patlamaların zemin üzerindeki etkisi incelenmiş, ayrıca laboratuarlarda ateşli silahlarla mermi çarpma deneyleri yapılmıştır. Öte yandan bilgisayarlardan yararlanarak krater oluşumuna ilişkin çeşitli fiziksel modeller geliştirilmiştir. Kayaçlar ve mineraller şok etkisinde bırakılarak bunların yapısındaki değişiklikler gözlenmiş, bu bulgular göktaşı kraterlerinden elde edilen kayaç ve mineral örnekleriyle karşılaştırılmıştır. Bütün bu araştırmalarla elde edilen bulgularla, göktaşı krateri oluşumunun belirli evrelerden geliştiği sonucuna varılmıştır.

Daha önce yapılan birçok çalışmayla krater oluşumunun miktarı, bu olayda açığa çıkan enerjinin miktarı, meteoridin gelme açısının krater oluşumundaki etkileri araştırılmış ve önemli sonuçlara ulaşılmıştır.

Çarpma kraterleri, meteoritlerin Ay veya kayaç bir gezegene çarpmasıyla oluşan kraterlerdir. Gezegen oluşumunun son evresinde, gezegen yüzeylerinin son görünüşünün belirlenmesinde krater oluşumu önemli rol oynar. Yer’ de aşınma ve tektonik süreçler, sürekli bir kabuk değişimine neden olduğu için birçok çarpma krateri yok olmuştur. Güneş sistemindeki çoğu bölgede bu doğru değildir ve belki de krater oluşumu , bir yüzeyin görünüşünün belirlenmesinde hemen hemen en önemli süreçtir.

GİRİŞ

Göktaşı kraterleri, göktaşı çarpması sonucunda gezegenlerin yüzeylerinde oluşan çöküntülerdir. İnsansız uzay araçları ile sürdürülen gözlemler sonucunda Ay kraterleri büyüklüklerine, morfolojik yapılarına ve oluşum biçimlerine göre sınıflandırılır. Buna göre Ay yüzeyindeki kraterler temel olarak birincil ve ikincil çarpma kraterleri, volkanik kalderalar, maarlar, zirve kraterleri ve çökme kraterleri(akaçlama) biçiminde gruplandırılırlar.

Çeşitli insansız uzay araçlarıyla gerçekleştirilen araştırmalar sonucunda Mars'ın yüzeyinde de dairesel yapıların ve çöküntülerin bulunduğu belirlenmiş ve böylece krater oluşumunun, Yere benzer tüm gezegenimsi cisimler için evrensel bir doğal süreç olabileceği düşüncesi geliştirilmiştir. Bugün Güneş Sisteminde yer alan yada evrenin öteki bölümlerinde bulunan korunmasız gezegenlere sık sık göktaşlarının çarpıyor olması akla yakın bir olasılık olarak kabul edilmektedir. Genel olarak gezegenlerin birim yüzey alanlarına düşen krater sayısı ile gezegen atmosferinin yapısı ve yoğunluğu, gezegen yüzeyinin aşınmaya karşı direnci ve gezegenin civarında bulunan ve yüzeye sürekli düşen parçacık akısı arasında yakın bir bağıntının olduğu düşünülmektedir.

Yere benzer(katı kayaç) gezegenlerin oluşumu için ortaya atılan varsayımların çoğu, oluşumun belirli bir evresinde boyutları toz parçacığı büyüklüğü ile birkaç km. Arasında değişen küresel ve kırıntılı cisimlerin bir kümeleşme ve birleşme sürecinden geçtiğini öngörür. Bu nedenle bu oluşum evresinde şok dalgalarının oluşmasına yol açan yüksek enerjili çarpışmaların gerçekleşmiş olabileceği düşünülebilir. Çoğu göktaşının üzerinde bu türden şok izlerine rastlanmaktadır ve bunların önemli bir bölümü ana cismin parçalanması veya yere çarpması sırasında oluşmuştur. Ama bazılarının da önceki kümeleşme ve birleşme sürecine ait olduğu anlaşılmaktadır. Krater oluşumuna yol açan büyük çarpışmaların temel olarak gezegenin son boyutlarına

ulaştığı zaman mı, yoksa ilkel gezegen(protoplanet) aşamasında sürekli bir süreç olarak mı gerçekleştiği henüz belirlenmemiştir.

Yer yüzeyindeki çarpma kraterlerinin sayısı Aydakilere göre daha azdır. Yer atmosferindeki sürtünme uzaydan gelen küçük cisimlerinin hemen hepsi buharlaştırmaktadır. Bu nedenle de Yerde oluşan herhangi bir kraterin boyutu, Yerin atmosferine giren göktaşlarının ortalama büyüklüğünden daha fazladır. Kıtalarındaki çarpma kraterlerinin dağılımına ve yoğunluğuna bakıldığında, son bir milyar yıl içinde atmosferden geçerek Yere çarpan ve büyük krater oluşturan göktaşı sayısının tahmin edilenden daha az olduğu görülmektedir. Ama bunun nedeni, soğuma sonrasında hidrosferin ve atmosferin yer kabuğu üzerindeki aşındırma etkisi ve okyanusların oluşumu sonucunda, boyutları 10m ile 1-2 km arasında değişen kraterlerin izlerinin büyük ölçüde silinmiş olmasıdır.

1955'ten sonra çarpma sonucunda oluştuğu kesin olarak kabul edilen göktaşı kraterlerinin sayısında artış gözlemlendi. Belirlenmiş göktaşı krateri sayısındaki bu ani artışın başlıca nedenleri, astroblemler(yıldız yarası) kavramının ortaya atılması, daha yoğun araştırmaların yapılması ve çarpma yapılarının tanınmasında yeni kriterlerin geliştirilmesidir.

Astroblemler kavramı, göktaşı kraterlerinin incelenmesinde nelere dikkat edilmesi gerektiği konusunda önemli bir aşama oluşturdu. Astroblemler çarpma kraterlerinin yalnızca aşınmaya dayanmış kalıntılarıdır. Daha eski yapıların belirgin krater ağız bölümleri aşınarak tümüyle tanınmayacak duruma gelmiş olabilir, ama yine de bir oranda dairesel görünümünü korurlar. Ayrıca bu yapılar belirgin iç biçim değişikliği özelliklerine sahiptir ve çarpma sırasında ufalanan ana kayanın kalıntılarını(breş) içerebilirler. Bu nedenle geniş anlamıyla göktaşı kraterleri, yüzeyde veya yüzeye yakın kesimlerde yer alan ve bir şok darbesinin izlerini taşıyan, biçim değişikliği ve kaya yada toprak parçalanması sonucunda ortaya çıkan, görünümü genel olarak dairesel olan ve çapının derinliğine oranı 3/1 yada daha fazla olduğunda yayvan bir görünüm kazanan yapılar olarak tanımlanabilir.

1.ÇARPMA KRATERLERİNİN OLUŞUMU

Çarpma kraterleri, meteoritlerin Ay veya kayaç bir gezegene çarpmasıyla oluşan kraterlerdir. Gezegen oluşumunun son evresinde, gezegen yüzeylerinin son görünüşünün belirlenmesinde krater oluşumu önemli rol oynar. Yer’ de aşınma ve tektonik süreçler, sürekli bir kabuk değişimine neden olduğu için birçok çarpma krateri yok olmuştur. Güneş sistemindeki çoğu bölgede bu doğru değildir ve belki de krater oluşumu , bir yüzeyin görünüşünün belirlenmesinde hemen hemen en önemli süreçtir.

Meteoritler , Yer atmosferi içine girdiğinde ortalama hızları yaklaşık 16 km/s ‘ dir. Atmosfere girdiklerinde yavaşlarlar ve uzanımları , içeriye girdikleri anki kütle ve açalarına bağlıdır. Atmosfer içine girerken kütlede ve açıda bir düşme meydana gelir ve böylece hızda daha büyük bir düşme olur. Kütleli 1 ton ‘ dan daha az olan meteoritler , atmosferde yaklaşık serbest düşme hızına inerler. Bu meteoritler Yer yüzeyine yaklaşık birkaç yüz m/s’ lik hızlarla çarparlar.

Eğer çarpma hızı 100 m/s ‘ den küçükse , yumuşak zeminli küçük bir delik veya çukur açabilir ve bu meteoritlerin boyutları genellikle eşittir. Benzer hızdaki bir meteorit sert bir zemine veya kayaca düşerse meteorit zeminin birlikte parçalanmasına neden olur. Çarpma hızlarının 100 m/s ‘ den büyük olduğu durumlarda , yumuşak zeminde olsa da meteorit parçalanması meydana gelecektir. Çarpma hızları 100 m/s ‘ ye yaklaştığında , farklı yönlerde uçan meteorit ve zemin parçacıkları bir çukura veya huni şekilli bir oluşuma neden olur.

Çarpma çukurunun boyutu hızın artmasıyla artar. Meteoridin ağırlığı 50 ton ‘ un üzerindeyse kozmik hızın önemli bir kesriyle birlikte Yer yüzeyinde çarpışma meydana gelir. Hız, yaklaşık 2-5 km/sn’ in üzerine çıktığında, çarpma noktasında şok dalgalarına yol açar ve en az meteoridin çapında bir çarpma krateri oluşur. Nitekim çarpma kraterlerinin çukurlarındaki ilerleme patlama kraterlerine benzer olarak çarpma hızına bağlıdır. Çarpan meteoridin patlamasıyla oluşan çarpma kraterlerinin çapı genelde 100m’ den daha büyüktür.

Yüksek hızlı bir çarpışma sırasında salınan enerjinin miktarı, meteoridin kinetik enerjisi ile belirlenir. Kinetik enerji, meteoridin hareketli olmasından kaynaklanan enerjidir ve $K.E = 1/2 mv^2$ ile verilir. Burada m, meteoridin kütlesi ve v de hızıdır. Kinetik enerji kütle ile doğru orantılı olarak artarken, hızın da karesi ile orantılı olarak artar.

Enerji miktarının artması için daha büyük bir meteoridin daha yüksek bir hızla çarpması gerekir. Kinetik enerji miktarı için yaklaşık 10m yarıçaplı(yada yaklaşık 32 bin ton) ve 10 km/sn hızında demir bir meteoride bakalım. Böyle bir cisimde kinetik enerji $1,6 \times 10^{22}$ erg 'e eşit olur($KE = 1/2 mv^2 = (3,2 \times 10^{10} \text{ gr})(10^6 \text{ cm/sn})^2/2$). Bu esnadaki enerji Yer' de ortalama büyüklükte bir depreme sebep olur(richter ölçeğinde yaklaşık 5). Bir kilo ton dinamitin enerjisi yaklaşık $4,2 \times 10^{19}$ erg e eşittir. Nitekim, gökteki bir meteoridin çarpması yaklaşık 380 kilo tonluk bir dinamitin patlamasına eşittir. Böylece, 10 km/sn hızında ve 20 m çapındaki bir demir meteoridin çarpması yaklaşık 580 m çapında bir krater oluşturur.

1.1. Krater Oluşumunun Mekanikliği

Yüksek hızlı çarpışmalarda krater oluşma mekanizmaları hakkındaki bilgiler, üç farklı tipte incelemelerden elde edilir:

- a- Bilinen meteorit çarpma kraterlerinin çalışması;
- b- Kimyasal ve nükleer patlamalarla oluşan kraterlerin çalışması;
- c- Yüksek hızlı fırlatıcılarla krater oluşumunun laboratuvar çalışmaları

Meteorit çarpması, orijinal koşulların yavaş yavaş değişiminden(seyrelme) sonra ani mekanik bir deformasyonun(şok basıncı) başlıca sürecidir. Çarpma kraterlerinin gelişimi üç ana evrede toplanmıştır:

- 1- basınç evresi;
- 2- kazılma evresi;
- 3- değişen evrelerde krater oluşumunun sonrası

Çarpma kraterlerinin değişimi "Krater Morfolojisi(Dış Yapı) ve Tanımlanması" bölümünde incelenecektir.

1.1.2. Basınç Evresi

Meteoridin teması karşısında zemin yüzeyinde şok dalgaları oluşur ve meteoridin kinetik enerjisi zeminin içine transfer edilir. Biri meteoridin içine, biri de zemine doğru olmak üzere iki şok dalgası oluşur. 10 km/sn civarındaki hızlar, birkaç Mbar'lık şok basıncına yol açar.

Bu baskılarla biçimi bozulan oluşumların büyüklüğü, kayaç materyalinin uzunluğundan daha fazladır. Örnek olarak, Yer' in kıtasal kabuğunda çok bilinen bir kayaç tipi olan granit, 250 Kbar civarında bir basınçla sıkışır veya ezilir, 450-500 Kbar' da erimeye başlar ve 600 Kbar' ın üstündeki basınçlarda buharlaşır.

Şok dalgası sisteminin geometrisi, zemindeki serbest yüzey karşısında ve meteoridin tarafında değişir. Serbest bir yüzey baskı durumunu taşıyamadığında, seyrelme dalgaları topluluğu büyümeden önce şoklar, kayacı yüksek basınçla evreden basınçsız hale getirirler.

İlk ortaya çıkan seyrelme dalgaları, akışkan materyalin çok yüksek hızlarda fişkırmasına(jet) neden olur. Jet, meteorit ve zemin arasından yayılır. Bu şekilde fişkırma mekanizma çarpışmadan dolayı dışarı atılan materyalin basınç ve sıcaklığını en yüksek seviyeye getirir. Jet, yüzeyin ve meteoridin içerdiği materyali eritir ve buharlaştırır.

Basınç evresinin sonunda şok dalgası meteoridin arka bölümünden yansıtılır. 10m ile 1 km çapındaki meteoritler için basınç evresi 10^{-3} - 10^{-1} sn arasında sonlanır.

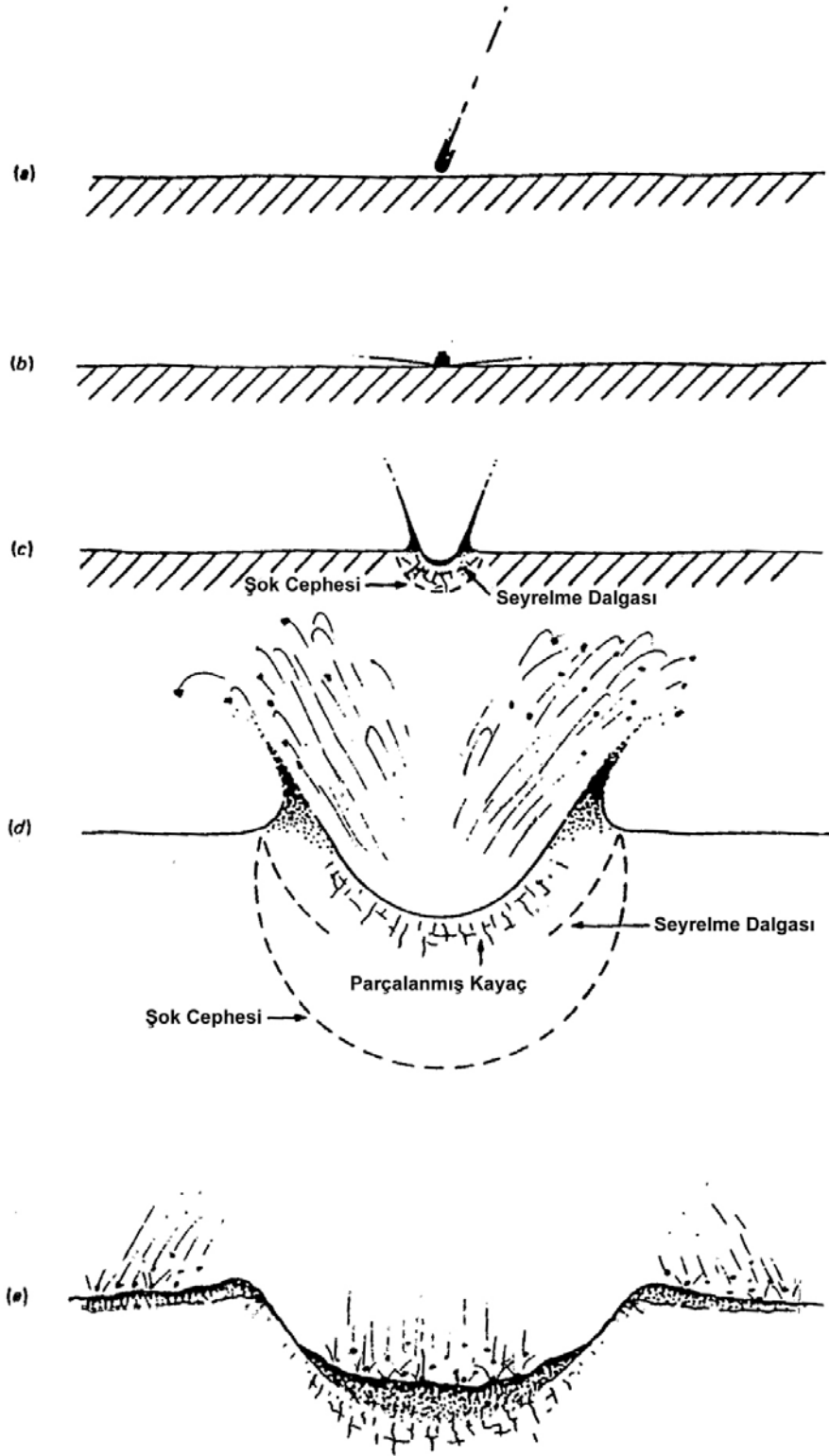
1.1.3. Çukur(kazılma) Evresi

Tek başına basınç büyük çukurlar yaratmaya yetmez. Zemin yüzeyi, sıkıştırma şok dalgalarından sonra anahtar mekanizma olan seyrelme dalgalarına rastlar. Seyrelme dalgaları ilerlerken, sıkışmış veya ezilmiş kayacda basınç yoktur ve hareket başlar.

Nitekim materyalin büyük kısmı basınç evresinden sonraki fişkirmalarla zaten uzaklaşmıştır. Krater oluşumunda dışarı atılan materyal “ejecta” ve kraterin çevresindeki parçacık tabakaları ise “ejecta örtüsü” olarak adlandırılır.

Seyrelme dalgalarından sonra materyal balistik yörüngeler boyunca yukarı ve dışa doğru atılır(şekil 1.1). Atılan materyal yukarı doğru hareket eder ve enkaz örtüsünde ters koni şeklinde büyüyen bir materyalin akış yerinde çukurlaşan üst duvarda kesilir. Atılan materyalin perdesi bir tarafta hızlıca yırtılır ve ince bir tel gibi görünür. Böylece parlak sistemler oluşur ve bu olay çarpma kraterlerinin karakteristiğidir. Atılan materyalin parçaları yaklaşık olarak görelî pozisyonlarını korurlar ancak kraterin iç kısmındaki materyale göre toprak ters düzendedir ve materyal örtüsünün tümünde ters bir katman yapısı oluşur. Ayrıca derin kısımdaki materyal , yüzey materyaline kadar atılmamıştır ve böyle topraklar kraterde daha yakındır.

Materyal blokları genelde dışarı atılır ve daha küçük bir yapı oluşturan bu düşük hızlı çarpma kraterlerine veya çöken çukurlara “ikincil kraterler” adı verilir. İkincil kraterler , genelde birincil kraterin çevresindeki atık materyal örtüsü üzerinde düzensiz ilmekler veya kümeler içinde meydana gelir. Atık materyallerin bazıları direk krater içine düşer ve bu oluşuma “breş çökeli “ adı verilir.



Şekil 1.1. Yüksek hızlı bir meteorit çarpmasında, basit bir kraterin oluşumu esnasındaki olayların dizilimini temsil eden şematik diyagram. (a) 16 km/s hızla Yer yüzeyine yaklaşan bir meteorit. (b) Basınç evresi. (c) Kazılma evresi başlangıcı. (d) Kazılma evresinin devamı ve materyalin balistik yörüngelerle dışarı atılması. (e) Oluşan son kraterin görünümü.

1.1.4. Kraterin Boyutu

Şok sonrasında uzaklık arttıkça basınç hızla azalır. Böylece atık materyalin sadece küçük bir bölümü , çarpışmadan dolayı açığa çıkan en yüksek sıcaklık ve basınçlara uğrar. Basınç bozulmalarının kritik değerinin altına düştüğü uzaklıklarda krater oluşumu sona erer (kayaçlar için genellikle 2-5 kbar). Son kraterin boyutu meteoridin hızına , boyutuna ve çarptığı yüzeyin niteliğine bağlıdır. Kraterin çapı ve enerji arasındaki ilişki ;

$$D = 1,96 \times 10^{-5} \times E^{0,294} \dots (1).$$

Burada D kilometre cinsinden çap ve E joule cinsinden enerjidir.yaklaşırma yapılırsa ;

$$D = 0,1 \times E^{1/3} \dots (2) .$$

Çarpışma enerjisi $K.E = 1/2mv^2$ ile verildiğine göre ;

$$D = (mv^2)^{1/3} \dots (3)$$

olur.

1.1.5. Çarpışma Erimesi

Çarpışma enerjisinin büyük kısmı krater kazılmasında kullanılır. Her ne kadar sıcaklığın büyük bir miktarı harcansa da şok dalgasından dolayı kayacın basıncı vardır. Atılmış materyalin sadece küçük bir kesri gerçekten erir ve çarpma kraterlerinin çevresinde bilinen atılmış materyalin çoğu görünmez ama anlamlı bir sıcaklığa sahiptir. Diğer yandan krater içindeki kayacın büyük bir kısmı eriyebilir ve çarpışma erimesi oluşur. Eğer hızla soğursa , soğuyan kısım camsı bir yapı oluşturur. Bu ısınan ve eriyen kayaç materyaline karışan toplam enerjinin miktarı , meteoridin hızının , kütlelerinin , kompozisyonunun ve hem meteorit hem de zemin yüzeyinin fiziksel durumunun fonksiyonudur. Kaba bir genelleme yapılacak olursa , çok enerjik bir çarpışma ve hedef materyalin azalan gözenekliliği erimeyi artırır. Nitekim kumun içinde gerçekleşebilecek bir çarpışmadaki camsı yapı , katı kayaçtakinden daha fazladır.

Camsı yapılar , atılmış materyalin veya kraterin içinde karışık breş çökellerindeki küçük cisimlerde meydana gelir ve krater zemininde birbirine yapışık tabakalar halinde

bulunurlar. Çarpışma camları , kompozisyon olarak homojendir ve çarpma noktasına yakın olan yüzey materyalinin karışımı gibi görünür

1.2. Kraterin Morfolojisi(dış yapı) ve Tanımlanması

Gezegen atmosferlerinin altındaki toz şeklinde tanecikler bile yüzeye kozmik hızlarla çarpabilirler. Ay toprak örneklerinden bulunan cam tanelerinin üzerinde çapı 0,1µm kadar küçük olan kraterler gözlenmiştir. Diğer taraftan , Ay üzerindeki havza benzeri özelliklerin çapı yaklaşık 1600 km ‘ ye kadar çıkmaktadır ve bunların asteroit gibi cisimlerle oluştuğu düşünülmektedir.

Çapı yaklaşık 1 cm ‘ den küçük olan çarpma kraterlerine mikro krater adı verilir. Dürbünsüz gözlenebilen daha büyük mikro kraterler enerjik çukurlar olarak adlandırılır. Atmosferin gördüğü kalkan görevinden dolayı Yer ‘ de mikro kraterler bulunmaz. Çarpma kraterleri 300 km ‘ den büyükse “havza” olarak adlandırılırlar. Çarpma havzalarında Yer ‘ de bulunmaz. Bunun sebebi muhtemelen Yer ‘ in jeolojik etkinliği ve gezegenin tarihinde ilk oluşan çarpma havzalarının şu an tanınmayacak ölçüde değişmiş olmasıdır.

Yersel çarpma kraterleri , merkezi yükseltilerinin görünüşlerine ve krater içinde bulunup bulunmayışlarına göre iki gruba ayrılabilirler. Genellikle çapları 2-4 km ‘ den daha küçük olanlar basit kase şekilli kraterlerdir. Çapı 4 km ‘ den büyük olanlar genelde merkezde bir yükselti yapısına sahiptirler. Bunlar sırasıyla basit ve kompleks kraterler olarak adlandırılırlar.

1.2.1. Basit Kraterler

Yeni bir yapı olan basit kraterlerde çapın derinliğe oranı 1/5 ile 1/7 arasındadır ve düzgün bir kase şeklindedir. Krater , atılan materyal örtüsü yanında yükselmiş ve kırılmış bir kayacın kombinasyonundan oluşan yüksek bir kenara sahiptir.

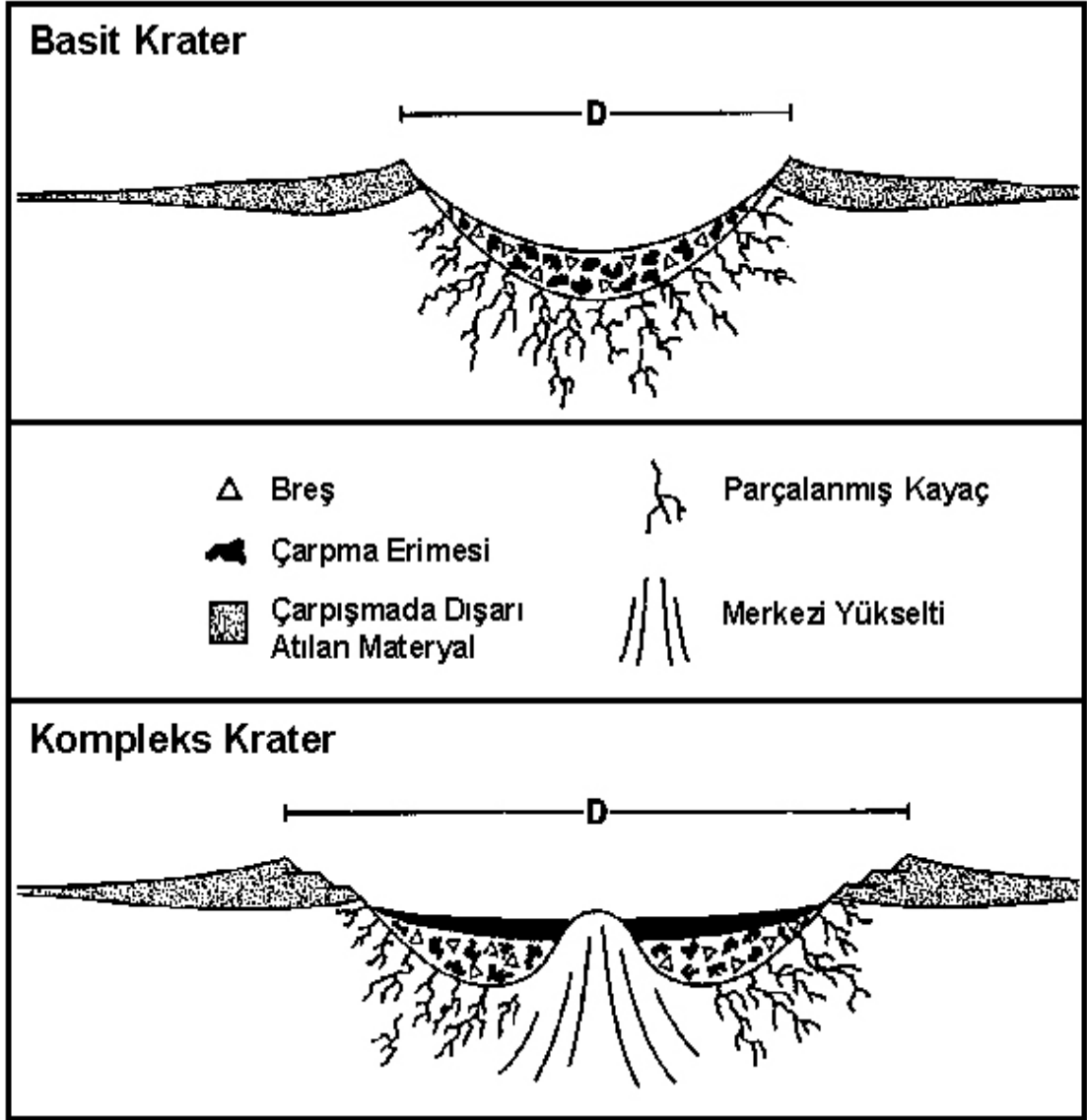
Krater oluşumu deneyleri (patlamalarla ve çarpmalarla) ve genç çarpma kraterleriyle yapılan çalışmalar göstermiştir ki ; çarpma noktasına komşu yüzey tabakası , krater kenarının altındaki bir eksen hattına sık sık geri fırlatılır. Nitekim kraterin içindeki tüm kayaçlar , kraterin yanında ters bir tabakalaşmayla yeniden yapılırlar ve kat kat ters çevrilmiş bir durumdadır. Kraterden uzağa süratle ve süreksiz olarak inceler. Bazı kraterlerde , krater duvarındaki kayaçlar krater kenarının altındaki kemerin içine doğru basit bir biçimde kaldırılır.

Krater kenarındaki deforme olmuş kayaçlar üst üste dizildiğinde ve dışa doğru 1-2 krater çapı genişlediğinde atılan materyal örtüsü ortaya çıkar. Örtü kenarlar üzerinde kalındır ve çevre yüzeyle birleşene kadar dışa doğru inceler. Kenar kapandığında, atılan materyal örtüsünün yüzeyi genellikle düzensiz ve tümseklidir. Materyal yapısından çıkan jetlerin radyal çizgileri, kenardan birkaç krater çapı öteye uzanabilir.

Kraterin zemini breş çökeli tabakalarıyla kaplanır. Şok başkalaşımının aşamalarında görülen kayaç kalıntılarının büyük bir kısmı breş tabakasını oluşturur. Ancak çarpmanın sebep olduğu bazı camsı yapıları veya tekrar kristalize olmuş eriyiği de içerebilir. Camın veya eriyen kayacın miktarı genelde çarpmanın boyutuyla artar.

D, krater çapı; d, görünen ve t, gerçek krater derinlikleri olmak üzere bunlar arasında;

$$d = 0,13xD^{1.06} \dots (4)$$



Şekil 1.2. Bir basit ve kompleks kraterin şematik diyagramı. Basit kraterin düzgünlüğü, çukurluğu ve yukarı doğru olan profili kompleks kratere göre farklıdır. Kompleks krater daha yayvan bir zemine ve çapına göre daha yüzeysel bir derinliğe sahiptir. Buna ek olarak kompleks krater, bir merkezi yükselti çevresinde halkalı yapılarda breş çökellerine sahiptir ve altında erimiş kayaç bulunur.

$$t = 0,28xD^{1,02} \dots (5)$$

şeklinde bağıntılar elde edilebilmektedir.

1.2.2. Kompleks Kraterler

Büyük yersel çarpma kraterlerinin zemini genelde bir çıkıntı veya yükseltiyle belirgindir. Çapı 30 km' den büyük olan kompleks kraterler, düşük veya yüksek topografik özelliklerle birlikte bir halka yapı gösterirler. Büyük kompleks kraterler, basit kraterlerin çaplarına kıyasla daha yüzeyseldir. Daha büyük kraterlerin çoğunda bulunan breş çökelleri genelde eriyen bir kayaç tabakasından oluşur(şekil 1.2) ve bu, krater hacminin önemli bir yüzdesi olabilir(%5' i kadar). Bilinen çarpma kraterleri, büyük çarpma olaylarındaki çarpışma enerjisinin büyük bir oranının, çarpma erimeleri yapısında ve krater kazılmasında kullanıldığını göstermiştir. Ayrıca krater çapıyla artmış görünen çarpma erimesi yüzdesi, çarpma kraterlerinde aynı kalmaktadır. Nitekim çoğu basit kraterde erime tabakası yoktur, oysa daha büyük kompleks kraterlerin zeminleri genelde çarpma eriyiği kayacına ait kalın tabakalarla örtülüdür.

Büyük çarpma kraterlerindeki merkezi yükseltinin kökeni hala tartışma konusudur. Yine de krater oluşumu deneyleri ve yapısal olarak kurulan ilişkiler, böyle özelliklerin krater oluşumunun son evresinde veya hemen sonra oluştuğunu kanıtlamıştır. Merkezi yükselti, krater zemini altındaki kayaçların geri sekmeleriyle veya kazılmadan sonra duvar materyalinin ani ve hızlı bir şekilde düşmesiyle ya da bu iki durumun kombinasyonu ile oluşmuş olabilir. Krater oluşumu deneyleri göstermiştir ki; düz bir zeminin yakınında patlama meydana geldiğinde yapı, merkezi yükseltiye yönelir. Buna göre çarpan düşük yoğunluklu bir cisim(örneğin bir kuyruklu yıldız) bir patlama gerçekleştirmeden önce bir merkezi yükselti oluşturur. Bununla birlikte çapı 5 km' den büyük olan kraterlerin hemen hemen hepsi merkezi yükseltiye sahiptir ve bu durum, kuyruklu yıldız çarpmasıyla oluşan tüm büyük kompleks kraterleri ve meteorit çarpmasıyla oluşan tüm küçük basit kraterleri kapsar. Bu aslında pek akla yakın görünmez. Genelde meteoritlerin, asteroit kuşağından çıkarıldığı düşünülür ve asteroitlerle Yer' in geçtiği yörüngelerin yeterli büyüklükte olduğu biliniyorsa, büyük çarpma kraterleri oluşur. Her ne kadar bulunamayan meteorit parçalarının kompleks kraterle birleştiği düşünülse de, büyük çarpma kraterleriyle birleşen kayaçların jeokimyasal çalışmaları, onların bir meteoritik kompozisyondan fırlatıldığını göstermektedir.

Kompleks kraterlerde merkezi yükselti(H) ile çap(D) arasında;

$$H = 0,06xD^{1,1} \dots (6)$$

şeklinde ampirik bir bağıntı vardır.

1.2.3. Krater Değişimi

Bir çarpma krateri, oluşumunda sonra kendisini değiştiren süreçlere bağlıdır ve muhtemelen bu süreçlerin bozucu etkileri vardır. En önemli süreçler; içeri çökme, erozyon, içe dolma belki izostatik (izostasi = dengeleme) ayarlamalardır.

Oluşumdan sonra kraterin çökebilen iç duvarları krater genişliğini artırır ve duvarlardan gelen materyalle zemin kaplanır. Çökme, büyük kraterlerde çoğunlukla ortak görülen bir olaydır ve teras serileri oluşturup duvar kayaçlarının tek merkezli parçalara ayrılmasına yol açar(böyle özellikler Ay' da ki büyük çarpma kraterlerinde ortaktır). Erozyon kenar yüksekliğini azaltır ve erozyon ürünleri krater içine dolar. Neticede erozyon , eski krater zemininden aşağıya doğru ilerler ve krater yapısının tüm belirteçleri kaybolur. Eski çarpma kraterinin aşınmış kalıntısına “astroblem” adı verilir.

Hesaplamalara göre çarpma yapısı olarak kabul edilmiş yersel kraterlerin (yaklaşık 20 km çapındaki) yaşam süresi yaklaşık 600×10^6 yıldır. Halbuki 10 km çapındaki bir yapı yaklaşık 300×10^6 yıllık bir yaşam süresine sahiptir. Çapı 1 km civarında olan kraterlerin yaşam süreleri sadece 1×10^6 yıl veya daha azdır.

İzostatik ayarlamalar, büyük kraterlerde önemli olabilir. Kraterin kazılması kütlede bir eksilme oluşturur, bu da zamanın periyodu olarak krater zemininde bir yükseltiyle sonuçlanır.

Diğer krater değişimleri, volkanik ve tektonik etkiler sonucunda çukurlaşma ve eksilmelerle oluşabilir. Volkanik etkiler, büyük çarpışmalarla tetiklenebilir. Krater kazılması sırasında alttaki kayacın basıncı azalır ve böylece erime sıcaklığı da azalır. Eğer alttaki kayaçlar zaten erime sıcaklığı yakınıdaysa basınç , kayaçların erimesine neden olan sıcaklığı daha da azaltabilir. Ayrıca çarpmanın yol açtığı sıcaklık, magma

oluşumuna da yardımcı olabilir ve çarpma sırasında alttaki kayalarda oluşan çatlaklar magmanın akışına da yardımcı olur. Kanada, Ontario' da bulunan 140 km çapındaki Sudbury havzası volkanik etkilerin tetiklediği çarpma kraterinin bir örneği olabilir. Bu kraterde , metalik maden cevherlerinin büyük bir kısmı kraterin boyutuyla birleşir. Maden cevheri maddesi yaklaşık 30-60 km arasındadır ve deforme olmuş, aşınmıştır.

1.3. Meteorit Çarpma Kraterlerinin Tanınması İçin Kriterler

1.3.1. Genel

Meteorit parçaları genelde genç çarpma kraterleriyle birlikte bulunur ve bu durum, bir meteorit çarpmasının tanınması için en iyi kriterdir. Bununla birlikte meteorit parçaları çok çabuk aşınma gösterir ve şu ana kadar bilinen çarpma kraterlerinden sadece 13' ü meteorit parçalarıyla birlikte bulunmaktadır. Her durumda parçalar, demir veya taşlı demir bir meteoridin kraterin oluşumuna sebep olduğunu gösterir. Bazı daha eski çarpma yapılarından elde edilen çarpma eriyiği kayalarının jeokimyasal çalışmaları, bunların bir kısmının taşlı meteorit yapısında olabileceğini göstermiştir. Bu çalışmalar, bu büyük taşlı meteoritlerin demir meteorit bolluğundan daha az olduğunu göstermiştir. Çünkü bu büyük taşlı meteoritler, atmosferde parçalanma geçirdikleri için önemli çarpma yapıları oluşturabilecek tek, büyük cisimler halinde Yer' e çarpmazlar.

Çarpmayla oluşan bu yapı için dairesel ve yükselmiş bir kenar şekli önerilir; özellikle kenar ters bir kapak gibi yüzeye birleştiği veya kemer oluşumu gösterdiği zaman. Çarpma kökeninin belirteci de, ikincil kraterler üzerinde üst üste binerek ters tabakalaşma gösteren kraterden dışarı atılmış materyal örtüsüdür. Yine de yukarda sayılan tüm özellikler, eski çarpma kraterlerinde veya astroblemlerde aşınma yüzünden kaybolmuş olabilirler.

Daha büyük çarpma kraterleri breş tabakaları içerebilirler ve içerde çarpmadan dolayı erimiş bir kayaç oluşur. Bu kraterde meydana gelen çarpmaya ait camsı yapılar, meteoritten gelen demir ve nikeli içerir.

Meteorit parçalarının eksik kısımları kraterle birleşmiş şekilde bulunur. Çarpma kökeni için en iyi kanıtlardan biri de şok başkalaşımı etkileridir. Çarpmanın yol açtığı geçici yüksek basınç şok dalgaları geçtikten sonra kayalarda çeşitli değişimler ve özellikler meydana gelir.

1.3.2. Şok Başkalaşımı(metamorfizm)

Geçici yüksek basınç şok dalgalarının geçişinden sonra mineral ve kayalardaki tüm değişimleri öğrenmek için şok başkalaşım dönemi kullanılır. Şok başkalaşımı, şiddetli şok dalgaları yardımıyla çarpma noktasında, çarpan meteoridin kinetik enerjisinin kayaların içine doğru ani-yakın transferiyle gerçekleşir. Şok başkalaşımı, normal jeolojik başkalaşımdan tamamen farklıdır.

Şok başkalaşımı aslında ani bir olaydır. Her ne kadar temasla başkalaşım günler veya yıllar sürebilirse de, bölgesel başkalaşım ile karışarak milyonlarca yıllık periyotlar haline de gelebilir. Şok başkalaşımında tepe basınçlar birkaç Mbar' a kadar uzanabilir ve büyük hacimli kayalar için basınçlar 10-100 kbar derecesindedir. Normal başkalaşım esnasında basınçlar 50 kbar' ı aşmaz ve genelde 10 kbar' ın altındadır.

Çarpma olayı esnasında, sıcaklıklar yerel olarak 10000°C' ye varabilir. Bu değer altındaki sıcaklıklarda genelde normal başkalaşım yer alır. Farklı minerallerin şok başkalaşımı esnasında zaman çok kısadır ve reaksiyonlar dengeye ulaşmaz. Şok etkisi geçirmiş kayalardaki mevcut minerallerin tümü aynı sıcaklık ve basınçlarda sabit değildir. Normal başkalaşım sürecinde, farklı mineraller genelde dengeye ulaşır veya yaklaşır.

Şok etkileri 3 ana grupta toplanabilir:

1. Yüksek basınç etkileri
2. Yüksek hızlı gerilim etkileri
3. Yüksek sıcaklık etkileri

Yüksek basınçlar, minerallerin yüksek basınçlı çoklu yapıları oluşturmaya yol açar. Çoklu yapılar, oluştuğu minerallerle aynı kompozisyondadırlar ancak kristalimsi bir

yapıdan daha yoğundurlar. Örnek olarak Kuvars' ın yüksek basınçlı bir türü Koezit' tir. Bir çarpışmada, şok dalgalarının geçişi esnasında, minerallerin kristalimsi yapılarında tahribat artar ve bunun sonucunda hızlı gerilim etkileri oluşur. Her mineral türü şok dalgalarının geçişinden farklı etkilenir. Belirli minerallerin bir kayaç örneği içinde bulunuyor olması, şok başkalaşımının belirtecidir(1).

2. TEORİDE KRATER OLUŞUMU VE KRATER OLUŞUM SÜRECİNDE AÇIĞA ÇIKAN ENERJİNİN MİKTARI

Gezegenlerden geldikleri düşünölen katı maddelere ait parçacıklar, aralıksız olarak evrenimizi katederler. Güneş çevresinde eliptik yörüngelerde dolaşan küçük kütleli ve şekilsiz gök cisimlerine asteroit(göktaşı) adı verilir. Bu gökcisimlerinin Yer atmosferiyle fiziksel etkileşime girerek parlak bir iz bırakması durumunda bu cisimler meteor olarak adlandırılır. Sonuçta atmosferle etkileşmiş meteorların yere ulaşmış olanlarına da meteorit adı verilir(2). Yer, 4,6 milyar yıllık tarihinde birçok kez böyle cisimlerle bombardıman edilmiştir.

Her ne kadar zaman bu olayı sık sık gizlese de, meteorit çarpmalarının delili çok fazladır. Çarpma mineral topluluklarına sebep olur ve kısmen erimiş breş, bu yıldızlararası bombardımanın kesin belirtisidir.

Geçmişte yapılan birçok çalışma, meteorit çarpmalarındaki fiziğin şifresini çözmeyi ve mekaniğin miktarını ölçmeyi sağlamıştır. Böyle çarpmalardaki uçma olayından; difüzyon, uçuş türbülasyonu, radyasyon, hedef yoğunluğu, geometri, uçuş rotasyonu, aerodinamik basınç, sürüklenme ve enerji transferi, kesip çıkarma, atomik çarpışma, atomik etkileşimin potansiyel enerjisi, şok dalgasının yayılması ve ayrılması, krater oluşumu, erime ve dolaylı(gizli) çarpışma gibi fiziksel niceliklere ait modeller değerlendirilmiştir. Bu yaklaşım küçük meteorit çarpmaları için oldukça başarılıdır, bununla birlikte büyük boyutlu çarpmalar için süreçleri anlayabilme yeterliliğimiz, meteoridin boyutu arttıkça azalır. Bu nedenle bir meteorit çarpmasındaki görünüm ve büyüklükten, basit enerji ilişkilerinde merkezin çok etkisi olabileceği anlaşılmıştır.

2.1. Teoride Krater Oluşumu

En büyük ve en şiddetli çarpma özelliğini meteorit krateri gösterir. Krater oluşumu teorisi mantıklıdır ama yine de yöntemin işleyişi tamamen nadir ve karmaşıktır. Böyle bir durumda, bin atom bombasının verdiği enerjiden daha büyüğünün oluştuğu bir çarpışmadaki sonuçlar göz önüne getirilmeye çalışılır.

Demir yönünden zengin bir meteorit, sürtünme ısısından dolayı eriyen ince bir tabakayla ateşli bir topa dönüşür. Meteorit Yer ile temas ettiği anda, meteorit ve Yer kayaçlarında çok büyük bir şok dalgası oluşur. Bu, basınç evresi veya erken evre olarak bilinir. Bu süreç esnasında hedef materyal, şoktan dolayı aşağı doğru hızlanır. Şok dalgasından dolayı hedefte oluşan çok şiddetli basınçlar, çarpma basıncının dış limiti komşuluğundadır ki Yer' in atmosfer basıncı, materyalin çarpma alanının kenarından yok edici bir şekilde zorlanmasına neden olur. Çarpma kenarlarından dışa doğru olan bu baskı, fışkırtma olarak adlandırılır. Çıkan materyal bir hidrodinamik jet yapısındadır. Bu jet, meteoridin kendisinin çeşitli zamanlardaki hızlarına sahiptir ve bir akkor sıvı veya çok ısınmış buhar püskürmesi kompozisyonundadır. Şok dalgalarının ve seyrelme dalgalarının bu karışık sistemi, hedefi ve çarpan cisim kaplar. Bu sürecin temel sonuçlarından birisi, hedefin iç yapısına meteoritten aktarılan kinetik enerji transferidir. Seyrelme dalgaları, çarpma noktasından uzakta bulunan birçok çarpan cisimdeki ilk şok dalgalarını yakalar. Sadece 1 mikro saniyelik bir süreden sonra bir şok dalgası ve gizli sıcaklık biçimindeki enerji transferinin tamamlanmasıyla basınç evresi sona erer.

Krater kazılması evresi az çok basınç evresi ile aynıdır. Bu evre atomik bir patlamaya benzer ve hızlı krater genişlemesi olarak nitelendirilir. Materyal kraterden balistik veya plastik olmak üzere iki yolla ayrılabilir. Yüzeye daha yakın olan şok dalgasını geçirmiş kayacın büyük bir bölümü boşalır. Böylece kayaç, sahip olduğu yukarı doğru net bir kuvvetle ileriye doğru sürülür. Daha derindeki kayacın bir kısmı, kraterden yanlamasına itilir. Bu evre esnasında hedef kayaçta tam P/T koşulları sağlanırsa, kayaç tam veya kısmen eriyebilir, breşleşebilir veya buharlaşabilir. Çeşitli araştırmacılar, şok dalgasının bozulma oranını hesaplamayı denemişlerdir. Gault ve Heitowit (1963)' in ilk olarak basınç azalmasının $1/\text{yarıçap}^{2,6}$ ile orantılı olduğunu buldular. Hollsapple ve Schmidt (1983) ise şok dalgasının $1/\text{yarıçap}^6$ ile $1/\text{yarıçap}^2$ arasında azaldığını gösterdi. Krater kenarında yukarı doğru ilerleyen net kuvvet, yeterli büyüklükte dışarı atılacak hiçbir materyal bırakmadığında krater gelişimi tamamen sona erer.

Krater gelişiminin son evresi olan değişim evresi sadece 20-30 saniye sürer. Küçük basit kraterler çok fazla değişikliğe uğramazlar ama hiç olmazsa kısmen çarpma breşlerini veya erimeyi kapsayabilirler. Bununla birlikte büyük kompleks kraterler

genelde çok büyük değişikliğe uğrarlar. Bu değişimde merkezi yükselteler ve çift çemberler oluşur. Tam mekanizma hala tartışılmaktadır ama yine de esas kuvveti sağlayan mekanizmanın gravitasyonel çekim olduğu görülür. Kraterlerin merkezi yükselteleri için en az üç temel teori mevcuttur ancak yapılan deneyler, bu durumun şoktan geri sekme olduğunu göstermektedir. Bu süreç, havuza bir taş atıldığında su damlacıklarının yukarı doğru olan ilk hareketine benzetilebilir.

Bir kompleks kraterin çevresinde gelişen ikinci bir halka yapısı da yeterli derecede anlaşılammıştır. Bu süreç için, donmuş şok dalgaları, hatalı dikine kesilişler ve materyal farklılıkları gibi fikirler önerilmesine karşın ikincil halkaların, çarpma yerleri çevresinde bulunan normal eksiklik veya bozukluklarla ilgili olduğu görülmektedir.

Krater oluşum süreci, birim zamanda açığa çıkan en büyük enerjiyi temsil eder. Mekanizmalar karışık ve sonuçları da şaşırtıcıdır. Bu yüzden krater oluşumu süreci tamamen anlaşılabilir hale gelebilir. Geçmişteki krater oluşumu deneyleri, çok büyük hızlardaki cisimlerin farklı materyallerin içine doğru fırlatılması şeklindeki modellerle yapılmıştı. Aslında bu deneylerin temelde hatalı olması, arama ve model oluşturmayı çabuklaştırdı. Deneysel çalışmaları, hiper-hızlı meteoritlere eşit hızda cisimler fırlatılmasının imkansızlığı engeller ve bu hızlar için makul hızlardan genelleme veya ölçekleme yapmak yeterli değildir. Deneysel sınırlamalara bağlı olarak, kuramsal hesaplamaların gerektirdiği mekanik faktörlerin çoğu, gerçek bir problemdir. Bu problemlerin tümü üzerinden kabaca bir basitleştirme yapılırsa daha iyi olabilir ve bu faktörlerin bazılarının çeşitli etkilerden dolayı birbirini iptal edebileceği gerçeğine güvenilebilir. Bu yüzden, bir meteorit çarpmasını incelemek için en kolay yol aynı zamanda en iyi yolda olabilir.

2.2. Krater Oluşum Sürecinde Açığa Çıkan Enerji Miktarı

Dikkate alınacak ilk nokta meteoridin kinetik enerjisidir. Bilinmeyenler, kütle ve hız değişkenlerdir. Bununla birlikte bunlardan her birine gerçekçi sınırlar konulabilir. Örnek olarak, bir meteorit en az 11 km/s hızla hareket etmelidir. Bu minimum hız eşitliği, Yer' den atılıp yerçekimini ve uzay menziline aşabilen bir cisimi gerektirir. Mantıksal olarak, uzaydan Yer' e düşen bir cisimde aynı hızı meydana getirmelidir.

Meteorit hızının üst sınırının ise 72 km/s civarında olduğu bulunmuştur. Demir bir meteoridin yoğunluğu 8000 kg/m³ ve taşlı bir meteoridin yoğunluğu 3500 kg/m³ civarındadır. Yine de bir meteoridin çapı bilinmeyen bir değişken olarak kalır, yoğunluğu da bu iki sınır değeri arasında kalmalıdır. Biz meteoridin şeklini aşağı yukarı küresel kabul edelim. Şimdi tekrarlı bir yaklaşım olarak uygun, farklı hızlarda, uygun yoğunluk ve uygun çapları(böylece uygun kütleleri) formülün içine koyabiliriz:

$$\text{Toplam Kinetik Enerji} = 1/2mv^2 \dots(1)$$

Böylece geniş bir sınır aralığı içinde uygun bir toplam kinetik enerji kabul edeceğiz.

Bu, krater oluşumu için çok değerli bir yaklaşımdır, çünkü çarpma açısındaki önemsiz değişimler tamamen boşlanmıştır. Diğer bir deyişle 75° deki bir çarpışma, meteoridin orijinal çapının 3/4' lük bir kısmı kullanılsa da aynı olur. Çünkü alttaki gizli tortu veya aşınma gibi süreçlerin çoğu, gerçek çarpma özellikleridir ve doğrudan doğruya kraterden ölçülebilir. Meteoridin boyutu, kraterin boyutundan yaklaştırma yapılarak tahmin edilebilir. Meteoridin enerjisi tamamen bitmiş basit bir kraterin oluşumunu göz önüne alalım: Bu çanak şekilli bir hacmin kazılması için gerekli enerjiye benzer. Başka bir deyişle;

$$\text{Enerji}_{\text{Meteorit}} = \text{Potansiyel Enerji}_{\text{Kazılma}} \dots(2)$$

olur. Potansiyel enerji, kayaçların yoğunluğu(d), meteoridin çarptığı gezegenin(bu durumda Yer) çekimi(g), kazılma yüksekliği(h) ve kayacın hacminin(V) çarpımına eşittir. Kraterin yarı-küresel çapına R dersek ve kayaç hareketinin gerektirdiği yükseklik R' ye eşit olursa aşağıdaki formül kolayca yazılabilir:

$$\text{Enerji}_{\text{Meteorit}} = K \times R^4_{\text{Krater}} \dots(3)$$

Burada K = 2/3pi.d.g' ye eşit olan bir sabittir.

Tabii ki bir meteoridin tüm enerjisini krater kullanmaz. Gerçekte çok büyük bir şok dalgası olduğu için bir kısmı kullanılır ve gizli sıcaklığın çoğu kayıptır. Meteoridin enerjisinin yaklaşık %80-%85'ini şok dalgası ve sıcaklık tüketir ve oluşan sıcaklığın miktarının hesaplanması kolay değildir. Şok yayılmasının ve parçacığın hızı için hesaplamalar, hedef kayacın kendi özelliğine sıkı bir şekilde bağlıdır. Üstelik oluşan sıcaklığın ve erimenin miktarının hesaplanması çok karışıktır ve çarpışma enerjisi

fonksiyonu(ya da krater çapı) sadece yaklaşık değerlerdir. Bu problemlerden dolayı aralarında sadece görünür bir ilişki kurulmuştur:

$$E_{\text{meteorit}} = E_{\text{krater oluşumu}} + E_{\text{sıcaklık}} + E_{\text{şok dalgası}} \dots(4)$$

Ancak bunu yapmak bu kadar kolay değildir.

Deneyle ve modellerden aldığımız bazı sonuçların şu anda büyük bir anlamı vardır: Hesaplanan erime şiddetinin kraterin çapını verdiğini kabul edelim ve bir şok dalgasının hareketini mekanik olarak tanımlayalım. Ortalama bir çarpma için, krater çapının %4-%6'sının oluşan erime tabakaları kalınlığına eşit olduğu gösterilmiştir. İlk şok dalgası, 6-20 km/s hızla ilerler ve ilk parçacık hızı, meteoridin çarpma hızının yaklaşık olarak yarısıdır. İlk şok basıncı da yaklaşık olarak $d_{\text{hedef}} \times v_{\text{met}}^2$ ne eşittir ve şok basıncı $1/R^6$ - $1/R^2$ oranında bozulmaya uğrar. Burada R çarpma kraterinin yarıçapıdır. 11.2-30km/s arasındaki çarpma hızları, 1-10Mbar arasında ilk şok basıncı verir.

Krater oluşumunda ortaya çıkan erime şiddeti kolayca hesaplanabilir. Çünkü, krater çapıyla aralarında bir ilişki kurmak mümkündür. Krater çapının %5' inin erime kalınlığına eşit olduğunu kabul edelim ve hesaplamayı basitleştirmek için iki tane çanak şeklinde obje kullanalım. İlk olarak ilk olarak orijinal kraterin çapıyla çanağın hacmi, sonra da $d-(2 \times 0,05d)$ çapıyla diğer çanağın hacmi hesaplanır. Çıkarılan iki hacim toplam erime hacmini verir. Hesaplamaadan ayrılan diğer bir parametre, çarpma noktasından belirli bir uzaklıktaki şok dalgasının basıncıdır. $P_{\text{ilk}} = d_{\text{hedef}} \times v_{\text{met}}^2$ bağıntısı kullanılarak ilk basınç hesaplanabilir. Yaklaşık $1/r^3$ oranında bir bozulma kullanılarak(burada r, çarpma noktasından olan radyal uzaklıktır) kraterden belirli bir uzaklıkta bulunan şok dalgasının basıncı hesaplanabilir. Bunlar yerine konursa;

$$P_{\text{ilk}} = k \times 1/r_{\text{ilk}}^3 \dots(5)$$

olur. Burada k, bir orantı sabitidir. Küresel şekilli bir meteorit çarpmasında, meteorit çevresinde ilk basınç yaklaşık olarak sabit olacaktır. Artık farklı R_{meteorit} ve P_{ilk} değerleri için(ilk hıza ve hedef yoğunluğuna bağlı) bir k değeri hesaplanabilir. Bu değer kullanılarak, sözü edilen denklem içine((5) denklemi) bir p değeri yerleştirilebilir ve çarpma yerinden belli bir uzaklıktaki bir şok dalgasının basıncı bulunabilir.

Hesaplamalar bize göstermiştir ki; nükleer silah deposundaki bir patlamada açığa çıkan enerji, küçük bir meteoridin bile çarpmasından açığa çıkan enerjiye denktir. Daha önemlisi bu hesaplamalar, sadece çarpma krateri oluşumunun nicelik bakımından anlaşılabilmesi için kolay ve faydalı değil, aynı süreçlerin niteliğinin de daha iyi anlaşılabilmesini sağlar(3).

3. DENEY, GÖZLEM VE MODELLEMELERDEN EĞİMLİ ÇARPMALARIN ANLAŞILMASI

Meteorit çarpmaları, tüm Güneş Sistemi cisimlerinin yüzeylerinde çok büyük izler yaratır. Katı cisimlerin çarpması, yersel gezegenlerde yer alan en temel süreçtir. Bunun sonucu olarak, geçen on yıldaki deneysel ve teorik çalışmaların büyük bir kısmı, çarpışma sürecinin ayrıntılarının anlaşılabilmesine adanmıştır. Bunların çoğu, gezegen yüzeylerindeki çarpma kraterlerinin pek az olan gözlemlerinden çıkarılmıştır. Oysa laboratuvar ölçüm deneyleri, krater kazılması ve çarpışmada atılan materyalin yeri gibi çarpma süreçlerinin açıklanması açısından çok faydalıdır. Uygulanan yöntemlerle, tanımlanan çarpma kraterlerinin boyutu, şekli, derinliği, atılan materyal, çarpma hızı fonksiyonları ve çarpan cismin boyutu ve tipi belirlenmiştir. Çarpma kraterleri çalışmalarında sık sık ihmal edilen çarpma açısı, aslında önemli bir parametredir. Teorik olarak, meteoritlerin gezegen yüzeylerine eğimli yörüngeler boyunca çarptığını kabul etmek iyi bir yaklaşımdır. Genel kavram olarak, dikey çarpışmalarla dairesel kraterlerin oluştuğunun kabul edilmesi tipik çarpma olayları için uygun bir tanımlamadır. Problem, çarpışma açısının değiştirilebilmesindeki deneysel konuların azlığıyla ve çarpma eğiminin nümerik olarak modellenmesinde kullanılan bilgisayarların sınırlamalarıyla artmaktadır. Yine de son zamanlarda yenilenen incelemelerle eğimli çarpışmaların çalışmaları kabul edildi.

Bu noktada, eğimli çarpmalarda tanımlanması gereken konu, dikey olmayan bir çarpışmanın göstergesinin ne olduğudur. Bilimsel topluluklar arasında, normal çarpışma dönemiyle düşük açılı çarpışma dönemi eşdeğer olarak kullanılır. Oysa çok büyük eğimli çarpışmalar, çok düşük çarpma açılarını gösterir.

3.1. Eğimli Çarpışma Olasılığı

Çarpan meteoridin bir izotropik akışı(izotropi:farklı yönlerdeki eksenler boyunca ölçüm yapıldığında, özelliklerin aynı değerde olması durumu) için, hedef gezegenin gravitasyonel çekimine hiç bakılmaksızın, θ ile $\theta + \Delta\theta$ arasındaki bir açıda, bir yüzeye çarpma olasılığı(θ düşeyden ölçülerek) aşağıdaki gibidir:

$$dP = 2\sin\theta.\cos\theta.d\theta \dots(1)$$

3.1.1. Çekimsiz Yüzeyle

Yarıçapı R_B olan bir gezegene yaklaşmakta olan bir meteorit göz önüne alalım(Şekil 3.1). Meteorit, gezegenin enine kesiti içindeki yörüngeye girerse gezegen yüzeyine çarpar. Bu olayla birleştirilen toplam olasılık, gezegenin kesiti ve meteoritlerin akışı(F) ile orantılıdır;

$$P = \pi.R_B^2.F.$$

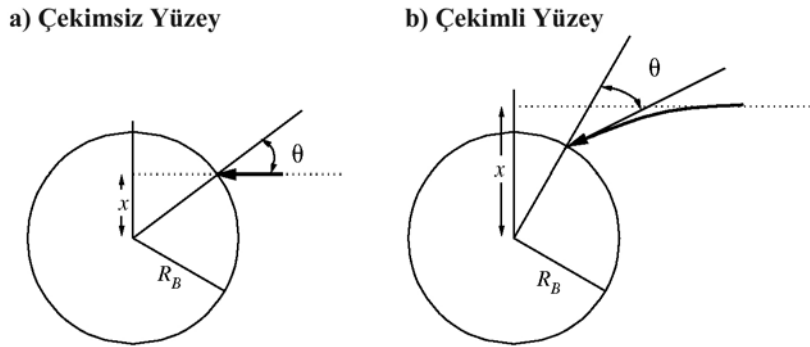
Enine kesitin merkezinden x uzaklığındaki bir meteoridin geçiş olasılığı;

$$dP = 2\pi.x.F.dx \dots(2)' \text{ dir.}$$

Burada temel bir trigonometrik teorem olan $x = R_B.\sin\theta$ ($dx = R_B.\cos\theta.d\theta$) ve θ yüzey normalinden ölçülen çarpışma açısıdır(zenit açısı). (2) numaralı denklemde yerine konursa;

$$dP = 2\pi.R_B^2.F.\sin\theta.\cos\theta.d\theta \text{ olur.}$$

Gezegende herhangi bir yere çarpma olasılığıyla normalize edersek (1) denklemini elde ederiz.



Şekil 3.1.

3.1.2. Çekimli Yüzeyle

Gravitasyonel çekim hesaba katıldığında, merkezci bir kuvvet için açısal momentumun korunumu kanunu kullanılır. Gezegenin anlamlı bir gravitasyonel çekimi olduğunu farz edelim(Şekil 3.1b). Meteorit, gezegenin gravitasyonel çekiminden sonra sapmaya uğrar.

Meteorit, gezegenin enine kesiti içinde yakalandığı zaman bir çarpışma meydana gelir. Bu olayın olma olasılığı $P = \pi R_g^2 F$ tir ve burada $R_g = (1 + (V_{kaç} / V_\infty))^2$ olur. $V_{kaç}$, gezegenin kaçış hızı ve V_∞ da gezegenden sonsuz uzaklıktaki meteoridin hızıdır). Aynı mantık takip edilirse, $dP = 2\pi \cdot x \cdot F \cdot dx$ olur ve burada x şimdiki çarpışma parametresidir.

Açısal momentum $L = mrv$ ile verilir. Burada m , meteoridin kütlesi, V , hızı ve r , gezegenden olan uzaklığıdır. Açısal momentumun korunumundan;

$$mR_B V_i \sin\theta = m x V_\infty \dots(3)$$

bulunur. Burada V_i meteoridin çarpma hızıdır. x için çözülürse;

$$x = R_B V_i \sin\theta / V_\infty \text{ ve (2) denkleminde yerine konursa;}$$

$$dP = 2\pi (R_B V_i / V_\infty)^2 \sin\theta \cos\theta d\theta$$

elde edilir. Enerjinin korunumundan, $V_i = (V_\infty^2 + V_{kaç}^2)^{1/2}$ ve $R_g = R_B (1 + (V_{kaç}/V_\infty)^2)^{1/2}$ olur. Gezegende herhangi bir yere çarpma olasılığıyla, $P = \pi R_g^2 F$, normalize edilirse tekrardan;

$dP = 2 \sin\theta \cos\theta d\theta$ elde edilir. Denklem (1)' e göre maksimum sıklıktaki çarpma açısı 45° dır ve $\theta = 0^\circ$ ve $\theta = 90^\circ$ deki çarpmalar ihmal edilebilir.

Denklem (1)' in integraline göre, çarpmaların %50' si 30° - 60° arasında, %76,6' sından fazlası ise 20° - 70° arasında meydana gelir.
















3.2. Eğimli Çarpmaların Deneysel Çalışmaları

Eğimli çarpışmaların deneysel çalışmaları, 1893' te basit, düşük hızlı çarpışma deneyleri zamanında yapıldı. Bunun gibi düşük hızlı deneyler, takip eden on yıllarda da devam etti. Sadece 1950' lerde bilim adamları, gerçek yüksek hızlı çarpışma deneyleri yapabildi. İlk yüksek hızlı eğimli çarpışmalar, alçı macunu hedeflere çarpan demir ve alüminyum cisimlerle 4,7 km/s hızlarına ulaştı.

3.2.1. Krater Şekli

Krater şekli üzerinde ilk geniş çalışma Gault & Wedekind(1978) tarafından yayınlandı. Laboratuvar ölçümleriyle karşılaştırıldığında, gezegenlerdeki etkin kayaç uzunluğundaki

azalma göz önüne alındı ve büyük gezegenlerdeki krater oluşumu olaylarının şekillerini en çok temsil eden özellikte hedefler kullanıldı. Bu deneylerde seçilen hedeflerin bir avantajı da küçük ölçekli Regolith(göktaşı çarpmasıyla oluşmuş granüler materyal) krateri oluşumunun direkt olarak uygulanabilir olmasıdır. Ayrıntılı çalışmalar sonucunda gezegen yüzeylerindeki tüm çarpma kraterlerinin daireselliğinin sırrı çözüldü. Ortalama olarak tüm kraterlerin, dikeyden en az 30° çarpma açıları için küçük bir yüzde içinde dairesel kaldığı bulundu. 30°' in altındaki açılar için çarpma hızı, çarpan cismin ve hedef yüzeyin materyalleri krater şeklinde rol oynar. Tipik laboratuvar çarpma hızlarında (≤ 7 km/s), Kuvars kumunda, 10°'in altındaki hızlar için yörünge uzanımının görüldüğü kraterler bulundu(Kuvarın yoğunluğu $1,7\text{gr/cm}^3$). Benzer bir işleyiş toz, sünger taşı hedeflerde de meydana gelir(yoğunluk $1,05\text{ gr/cm}^3$) ama 30° ile 10° arasındaki açılarda kraterlerin yörünge uzanımları başlar(15°' deki 5 krater için uzanım %15' tir). Diğer yandan kristal benzeri granit hedefler için 15°' deki kraterler de anlamlı uzanımlar ortaya çıkar.

ÇARPMA AÇISI (Dikeyden)	KRATER ŞEKLİ	MERKEZİ YÜKSELTİ	ATILAN MATERYALİN DAĞILIMI
< 10°			
10 - 20°			
20 - 30°			
40 - 50°			
> 50°			

Şekil 3.2. Ay ve Mars kraterlerinde ve laboratuvar deneylerinde belirlenen, çarpma açısı ile değişen krater parametreleri

3.2.2. Atılan Materyalin Dağılımı

Krater morfolojisinin diğer yönleri de çarpma açısından etkilenir. 30° in altındaki açılar için kraterlerin üst duvarında daha dik eğimler bulunur. En az 45° de ki çarpma açılarında, atılan materyal tortuları bir simetri gösterir. Çarpma açısı 45° in altına düştüğünde tortular asimetrikleşmeye başlar ve 30° in altındaki açılar için kraterin önce üst sırasında, sonra da alt sırasında “yasak” azimutal bölgeler ortaya çıkar. Çok eğimli çarpmalarda ($\leq 5^\circ$) oluşan materyal modeli bir “kelebek kanadı” özelliğindedir ve büyük bir kısmı cismin yörüngesine dik olarak çıkar. Eğimli çarpmalarda yapılan yeni deneylerde, düşük çarpma hızlarında bir 30° derece çarpması için atılan materyalin, aşağı yönlerde ve yüksek hızla bir yerde toplandığı görülmüştür. Düşük hızlı materyal ise, krater etrafında daha düzgün olarak yayılma gösterir. Çarpma sırasında oluşan erime de çarpma açısından etkilenir ve 45° in altındaki açılar için belli bir noktada alt sıranın toplandığı görülür.

Bu çalışmalardan sonra, kraterlerin çevresindeki materyalin çift taraflı simetri özelliği, gezegen yüzeylerinde eğimli çarpmalarla oluşan kraterlerin belirlenmesi için tanılayıcı özellik olmaya başlamıştır ve çarpan cismin yaklaşma yönünün belirlenmesi için bir kriter de sağlamıştır.

3.2.3. Krater Yeterliliği

Deneysel çalışmalar, eğimin artmasıyla oluşan son kraterin boyutunun azaldığını da göstermiştir. Yine de krater çapı, bir kraterin boyutunun tanımlanması için doğal bir seçimdir. Boyutun tanımlanması, çok düşük çarpma açılarında eğimin düşmesine bağlıdır. Bir çarpma olayında, hedef materyalin kütlesi krater boyutu olarak gösterildi. Bu nicelik, atılan cismin kütlesiyle normalize edildi ve krater yeterliliği olarak adlandırıldı. Özel hedefler için (çekimli yüzeyler) krater yeterliliği $\sin\theta$ ile azalırken, kristal gibi hedeflerde $\sin^2\theta$ ile arttığı bulundu. Çarpma hızının dikey bileşeni $V_i \sin\theta$ ise, hedef türlerinin bu iki farklı davranışı, hedefler arasındaki mevcut ilişkilerin ölçümleri kullanılarak birleştirildi.

Eğimli krater yeterliliği indirgemesine aynı zamanda, seken cisim parçaları ve atılan materyalden çalınan enerji kesri de eşlik eder.

3.2.4. Atılan Cismin Son Durumu

Atılan cismin son evresi, çarpma açısına kuvvetle bağlıdır. Sekme, cismin önemli bir kısmı hedef yüzeydeki ilk temas noktasından çarpıp geri geldiği zaman meydana gelir ve balistik yörüngelerde devam eder. Sekmenin başlaması için tek bir kritik çarpma açısı olmadığı sonucuna varılmıştır. Yine de laboratuarda yapılan deneylerde sekmenin, çarpma açısı 30°' ye yaklaşırken çok belirgin olduğu ve kayaç hedefler için 15°' de gelişmeye başladığı; özel hedefler için 10°-15° arasında tam bir gelişim gösterdiği anlaşılmıştır. Çarpan cismin hızına ve şiddetine bağlı olan sekme olayında cisim aynı kalabilir, birkaç büyük parçaya veya binlerce küçük parçaya ayrılabilir. Üstelik, ara yüz boyunca yüzeyle karışan cismin içe girmesi esnasında yüzeyin alt bölümlerinde buharlaşma başlayabileceği sonucuna varılmıştır. Çok küçük açılı çarpmalarda bile (< 2,°5), 10 km çapındaki bir kuyruklu yıldız tam bir bozulmaya uğrar. Oysa 5° - 7,°5' de ki açılar için bir asteroit, 4 km büyüklüğünde parçalara ayrılacaktır. Sonuçta bir çarpma olayında, sadece demir ve nikel gibi cisimler arta kalır.

Bu deneysel çalışmanın son derece ilginç bir sonucu da çarpan cismin seken parçalarında, çarpma hızının önemli bir miktarının korunmasıdır. Çok düşük çarpma açılarında (<10°), ayrılan kısımlardan gelen parçaların %60-%80' inde ilk çarpma hızı korunmaktadır. Bu yüksek hızlı cisimler, Yer' den kaçış hızını (11,2km/s) aşan hızlarla sekerler. Diğer yandan daha düşük çarpma hızlarında seken parçalar, Yer' in etrafında tam devir yapmayan yörüngededirler. O halde çarpan cismin ilk kinetik enerjisinin çoğu doğrudan doğruya atmosfere transfer olur, bu yüzden çevrede çarpmanın etkisi artar.

3.2.5. Şok Dalgası

Deneysel çalışmalarda, hedefte şok basıncının bozulması olayında eğimin etkisi olup olmadığı da araştırılmıştır. Piezoelektrik etki (Mekanik basınç altında bırakılan bazı kristallerin, bir yüzünde pozitif, karşıt yüzünde negatif elektrik yüklerinin ortaya

çıkması) ölçümleri kullanılarak, 90° ve 30° çarpma açılarındaki deneyler için şok basınçları kaydedildi. Enerji ölçümleri aşağı yönlerde azalırken basınç bozulmasının ortaya çıktığı bulundu. Üstelik şok dalgası momentumunun, çarpma hızının dikey bileşeni ile açık bir bağılılığı olmadığı görüldü. Bu özellikle, dalga momentumunun, yalnız çarpma hızının fonksiyonu gibi görüldüğü alt menzil yönlerinde doğrulandı.

3.2.6. Spikül(Tüycük) Genişlemesi

Eğimin mümkün etkilerinin daha fazla araştırılması yeni sonuçlar vermiştir. Düşük çarpma açılarındaki(<30°), erken gelişen bir buhar bulutu bulunmuştur. Bu erken buhar bulutu, kraterin genişleme evresinden sonra ortaya çıkar ve balistik yörüngelerde hareket eder. Çarpma çukurunun koruduğu ve yeniden yönlendirdiği buhar bulutunun bir kısmı, çok düşük çarpma açılarındaki(≤15°) yukarı yönde de küçük bir spikül oluşturur. Atmosferin var olması, buhar bulutunun genişlemesini yavaşlatır.

3.2.7. Buharlaştırma

Deneylerle ortaya çıkan şaşırtıcı sonuçlardan biri de eğimin artmasıyla buhar bulutunun enerjisinin artmasıdır. Bu sonuç çarpma açısıyla azalan tepe şok basıncının beklenen etkisiyle bağdaşmaz. Bu olay buhar oluşumunda bir artma belirtir ve sürtünmeden oluşan sıcaklığın kesilmesinden sorumludur. Kesilme, cisim ve hedef arakesiti boyunca meydana gelir, eğimle artar ve yüzey yakınında sınırlandırılmıştır. Bu nedenle buharın, düşük açılı çarpışmalardan meydana geldiği ve genellikle yüzey yakınında bir bölgeden kaynaklandığı sonucuna varıldı. Teorik çalışmalar, bu sonuçla nitel bir uyuma gösterir. 3-boyutlu hidrokod simülasyonları sonuçlarına bakıldığında, çarpma açısı azalırken hedefin yüzey tabakalarının buharlaşmasında artma olduğu görüldü ve buharlaşmanın, 30°' lik bir çarpma açısı için maksimum düzeye ulaştığı bulundu. Yine de nicelik bakımından bu sonuçlar tamamen farklıdır: buhar oluşumunda ortaya çıkan maksimum artış, yukarıda gösterilen artışın 15-20 katıdır.

Gezegenlerdeki çarpma ölçümleri kullanılarak yapılan deneylerin sonuçları hala açık değildir. Asıl önemli olan, sıcaklık kesilimi etkisinin yerinin nasıl belirleneceğidir. Sıcaklık kesiliminin, dar kesilim bantlarında toplanmaya yöneldiği iyi bilinen bir durumdur. Komşu materyaldeki diferansiyel baskılar hafifler ve tüm kütledeki baskı

belirgin bir şekilde aniden küçülür. Bu nedenle erime, sadece bu bantlarda sınırlıdır. Bu kesilme bantlarının genişliği, ısısal iletimle kontrol edilir ve büyük ölçekli bir çarpmada genişlik, sadece birkaç cm' den birkaç m' ye kadardır. Ne yazık ki laboratuvar ölçümlerinde santimetre boyutundaki kesilme bantları, atılan cismin tümünü ve hedefin çoğunu kuşatacak büyüklüktedir. Bu nedenle kesilme sıcaklığı dağılımının homojen olduğu izlenimini vermektedir. Erime miktarının çok daha az olduğu gezegen ölçümlerinde, kesilme sıcaklığının etkisi muhtemelen dar kesilme bantlarıyla sınırlıdır.

3.3. Model Oluşturma Çalışmaları

Eğimli çarpmaların araştırılmasındaki önemli rolüne rağmen laboratuvar deneyleri, gezegene çarpan meteoridin çarpma hızlarını meydana getiremezler. Diğer yandan gezegen yüzeylerinde eğimli çarpmalarla oluşmuş kraterlerin gözlemsel çalışmaları, özellikle deneysel çalışmalara bağlandığı zaman sadece nitel bilgi sağlar. Deneysel sınırlamalar tekniklerde değişiklik yaratır ve bu nedenle eğimli çarpma olaylarının çalışmaları için nümerik modelleme yapılır. Dikey çarpmaların nümerik modellemesinin büyük bir miktarı literatürden elde edilebilir; ama yine de şimdiye kadar çarpışma olaylarında eğimin etkileri için, çok sınırlı nümerik modelleme çalışması yapılmıştır.

Dikey çarpmalarda, yöntemin eksensel simetrisi iki boyutlu modellemenin basitleştirilmesini sağlar. Dikey olmayan çarpmalarda eksensel simetri kırılır ve hesaplamaların basitleştirilmesi için çift yönlü simetri kullanılabilir. Çok karmaşık ve şiddetli hesaplamalar içeren 3- boyutlu hidrokodlar(3D) kullanılmalıdır.

3.3.1. İlk 2 ½D Simülasyonları

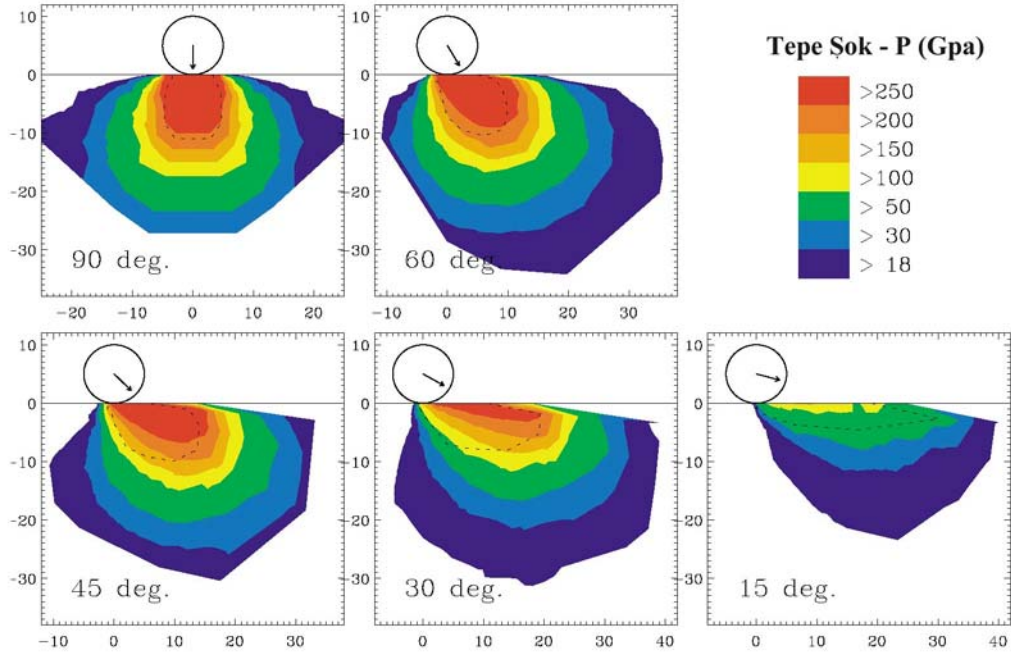
Eğimli çarpmaların modellenmesinde ilk çalışma, 2 ½D olarak bilinen simülasyonların kullanılmasını içerir. 2 ½D simülasyonlarında, eğimli çarpmaların modeli için iki boyutlu net-gerilim kodu kullanılmıştır. Bu durumda, çarpan küresel bir cisim, daire kesitinin sonsuz uzun bir çubuğu temsil eder. Bu eşitlemenin sebebi, 2 ½D simülasyonları çarpma düzlemindeki akış alanı için sadece bir modeldir. Oysa çarpma düzleminde uzakdaki materyalin dağılımı her yerde aynı durumda değildir. Üstelik 2 ½D simülasyonlarında şok basıncı olduğundan fazla bir değere ulaşır.

İlk 2 ½D simülasyonlarında, çarpma düzlemindeki tepe basıncı dağılımı eğimli çarpmalarda da simetri özelliği gösterir. Düzlemin dışında, tepe şok basıncı dağılımının, simetri noktası etrafında tam bir dolanma simetrisini koruduğu tahminiyle, 2 ½D simülasyonları kullanılır(küresel bir cisim için). 3D simülasyonları için bu durum söz konusu değildir(şekil 3.2); yine de ilk 2 ½D simülasyonlarının bazı sonuçları 3-boyutlu modellemede ortaya çıkar. Örnek olarak 3D simülasyonlarında, çarpma açısının azalmasıyla daha yüzeysel bir krater ortaya çıkar. Üstelik aşağı yönde atılan materyalin hızının, eğimle önemli bir miktarda arttığı bulunmuştur.

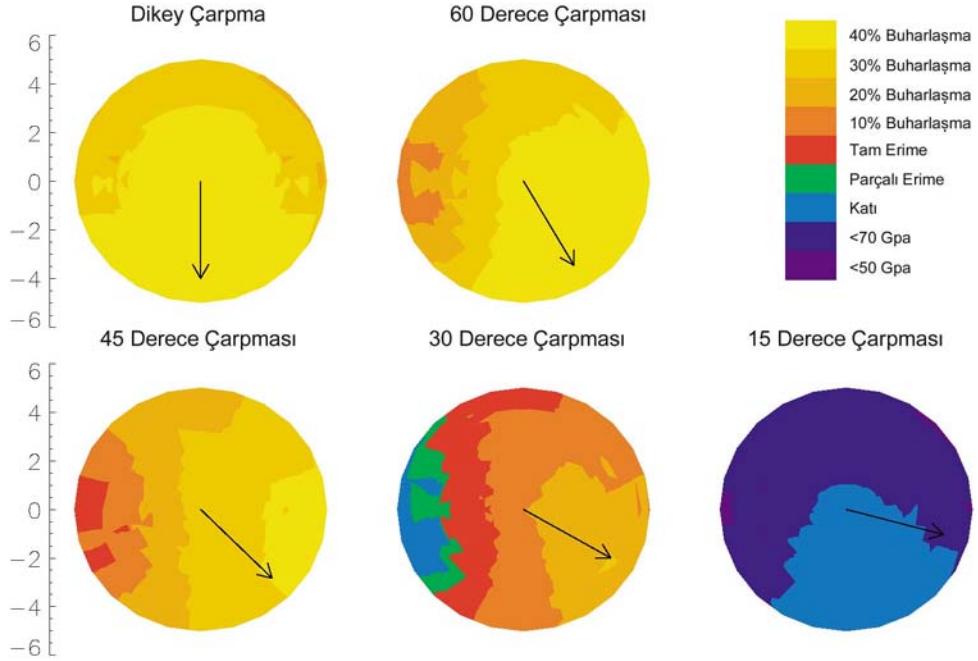
3.3.2. 3D Simülasyonları

Eğimli çarpmalarda ilk(ve tek) sistematik modelleme çalışması Pierazzo & Crawford(1998) tarafından gerçekleştirildi. Chicxulub kraterini ölçek alarak çarpma açısıyla değişen çarpma parametrelerinin 3D simülasyonları yüksek erime serileri gösterdiği sonucuna vardılar. Bu simülasyonların sonuçlarının derin analizleri Pierazzo & Melosh(1999,2000) tarafından verildi.

Simülasyonların modeli, 10 km çapında bir cismin, 20 km/s hızda ve yüzeyden 15°, 30°, 45°, 60° ve 90° çarpma açılarında, Yer yüzeyine çarpması şeklindedir.



Şekil 3.3. Farklı çarpma açılarındaki 3D simülasyonları için çarpma noktası çevresindeki tepe şok basınçları.



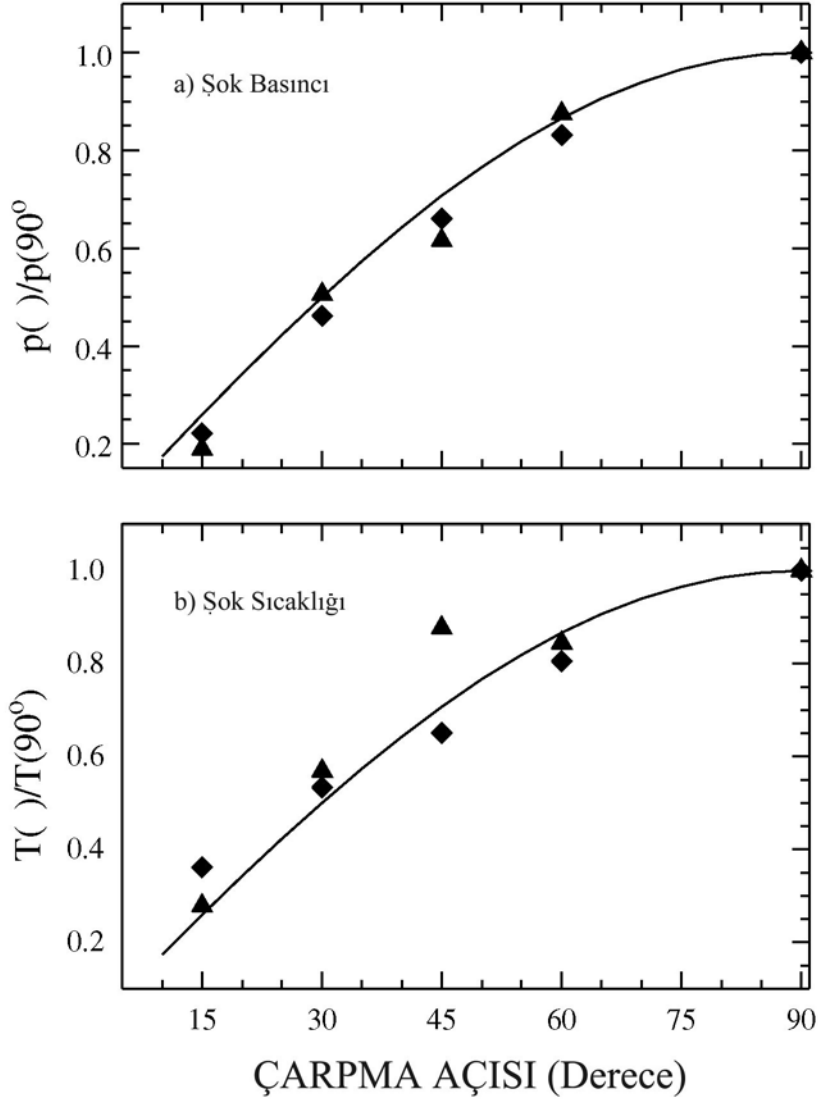
Şekil 3.4. Çarpma cisimdeki erime ve buharlaşma dağılımı.

3.3.2.1. Eğimli Çarpmalarda Şok Dalgası

Şok cephesinin konumu hedeften geçerken çoğalsa bile, çarpma noktasının etrafında simetriktir. Ancak şok dalgasının şiddeti, aşağı yönde oluşan şiddetle asimetri gösterir.

Şekil 3.3' de farklı simülasyonlar için çarpma düzleminde hedefin dış hatlarının uğradığı tepe şok basıncı gösterilmektedir. Sonuç olarak çarpma noktasının yanındaki izobarik eğri, erime bölgelerinde aşağı yönde belirgin bir bileşen ve çarpma açısının azalmasıyla bir derinlik azalması görülmektedir. Benzer bir sonuç çarpan cisim için de bulunmuştur. Şekil 3.4' de çarpma düzleminde dış hatlardaki tepe şok basıncı görülmektedir. Cisimdeki şok, çarpma açısı azaldıkça asimetri göstermeye ve daha zayıflamaya başlar ve cisimde çarpma açısıyla azalan erime ve buharlaşmayla sonuçlanır. Eğimli çarpmaların sonuçları, açılan çukurdan ilk atılan cisim miktarını da gösterir ve bu olay eğimin artmasıyla artar. Atılma hızı da eğimle artar; çok düşük çarpma açıları için ($\leq 30^\circ$), cismin bir bölümü Yer' in kaçış hızından fazla bir hızı yakalar.

Farklı 3D simülasyonları için cisimdeki ve izobarik eğri içindeki ana şok basıncı ve sıcaklığının çarpma açısındaki şok şiddetine bağlılığı hesaplanmıştır. Şekil 3.5' de çarpma açısıyla zayıflayan şok değerleri gösterilmektedir. Hedefteki şok basıncına



Şekil 3.5.

benzer olarak cisimde, tepe şok basıncı yaklaşık olarak çarpma açısının(θ) sinüsüne bağlıdır. Benzer olarak, hedef ve cisimdeki tepe şok sıcaklığı çarpma açısıyla azalır ama açığa bağlılığı $\sin^{3/2}\theta$ ' ya gider.

Çarpma noktasından uzaklıkla basınç bozulması arasında üstel ve şok dalgasının asimetrisinden dolayı karmaşık bir bağıntı vardır. Dikey çarpışmalarda ve patlamalarda ortaklaşa kullanılan basınç-uzaklık bağıntısı yerine, basınç bozulmasında bir hacim-ölçüm yönteminin kullanılabileceği ileri sürülmüştür. Böyle nitelendirilen basınç bozulması ifadesi aşağıda gösterilmiştir:

$$P(V) = K.(V_{<P} / V_{\text{cisim}})^{-n} \dots(4)$$

Burada $V_{<P}$, P şok basıncından daha küçük basınçtaki hedef materyalin hacmi; K, basınç bozulması için bir sabittir. Sayısal hesaplamalar, basınç bozulması hacminin hemen hemen bir sabit olduğunu göstermiştir(30° ve 90° çarpma açıları arasında). Bu mesafedeki simülasyonlar için ortalama bir değer verildiğinde $n_v = 0,671 \pm 0,007$ bulunur. Aynı simülasyonlar için lineer basınç bozulması sabitinin ortalama bir tahminiyle iyi bir uyuşma sağlanmıştır.

3.3.2.2. Eğimli Çarpmalarda Erime

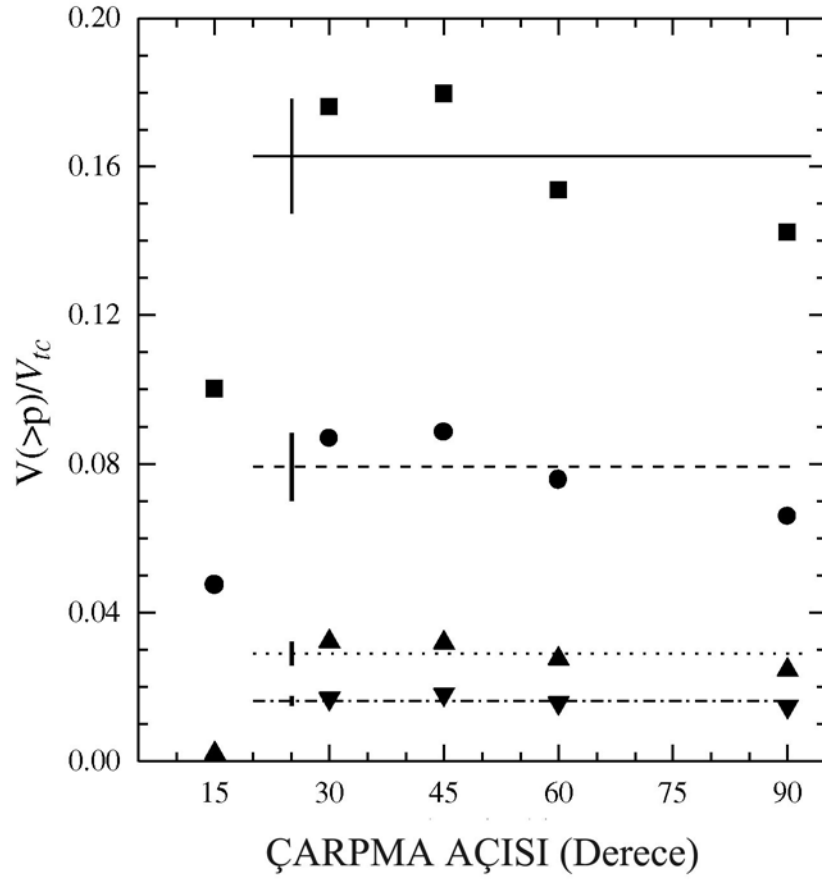
Hedefteki şok erimesi miktarı, çarpma açısının güçlü bir fonksiyonudur. Tipik kayaçlar için erime, çarpma açısıyla azalır: 90° ile 45° arasındaki çarpmalar için azalma %20' den daha azdır, oysa 30° deki çarpmalar için erime şiddeti, dikey bir çarpmadaki miktarın yaklaşık %50' sine düşer. 15° deki bir çarpma için azalma %10' dan daha azdır. Eğimli çarpmalarda erime şiddeti için, basit bir enerji ölçüm kanunu uygulanamaz. Eğimli çarpmalarda erime miktarı, çarpma hızının veya onun dikey bileşeninin basit bir üssü değildir. Deneyler geçici krater hacminin, çarpma hızının dikey bileşeni($V_i \sin\theta$) ile orantılı olduğunu göstermiştir. Bu bileşen, çarpışmada geçici krater kazılmasının hacmi için verilen kuralda yerine konursa, krater hacmini veren bağıntı;

$$V_{tc} = 0,28 (\rho_{pr} / \rho_t) D_{pr}^{2,35} g^{-0,65} V_i^{1,3} \sin^{1,3}\theta \dots(5)$$

elde edilir. Burada ρ_{pr} ve ρ_t , hedefin ve çarpan cismin kg/m^3 cinsinden yoğunlukları; D_{pr} , cismin metre cinsinden çapı ve g de m/s^2 cinsinden çekim ivmesidir. (5) denklemini kullanarak, farklı eğimdeki çarpma simülasyonları için geçici kraterin hacmi hesaplanabilir.

Şekil 3.6' da geçici kraterin hacmi ile normalize edilmiş erime hacminin($V_{>P}$) çarpma açısına göre grafiği görülmektedir. 15° durumunun ayrı tutulmasıyla, oranın kabaca bir sabit olduğu ortaya çıkar. 30° ile 90° arasındaki çarpma açıları için erime hacminin,

direkt olarak geçici kraterin hacmiyle orantılı olarak düşünülmesi makuldür. Teorinin olasılığına göre, gezegenlerdeki çarpma olaylarının en az %75' i bu sonuca uygundur.



Şekil 3.6.

SONUÇ

Ay yüzeyine bir kere bakıldığında; boş uzay denilen yerin aslında hiçte boş olmadığına ve orada gezegenler olduğu zaman saçılan parçaların yüzlerce kilometrelik geniş menzillerle, gezegenler arasında yüzdüğüne ikna olunabilir. Bu cisimler, gezegenler veya onların uyduları üzerinde tedirginlik etkisi yaratabilirler. Bu durum gerçekleştiği zaman, bir çarpışma meydana gelir ve bir çarpma krateri oluşturur.

Krater boyutu, çarpan cismin enerjisine bağlıdır ve cismin enerjisi arttıkça, kraterin boyutu da artar. Çarpma kraterlerinin boyutu, mikroskobik boyutlardan yüzlerce kilometreye kadar değişir ve krater oluşum dinamikleri içine giren bilgiler, laboratuvar deneylerinden elde edilmiştir. Aslında basit malzemelerle bu çarpışma hızlarına ve enerjilerine yaklaşılamaz, ancak yine de krater oluşumunun birçok temel prensipleri görülebilir.

Göktaşı Yer yüzeyine çarptığı anda, yüzey kayaçlarında ve göktaşında şok dalgaları oluşur. Zeminde oluşan şok cephesi göktaşının önünde ilerler ve bir çukurun oluşmasına yol açar. Cephenin gerisindeki kayaçlar sıkışır ve çukurun çevresine radyal biçimde yayılır. Kayaçların belirli bölümleri buharlaşır, erir, kırılır, parçalanır yada çatlar. Bu nedenle kayaçların yapısı saçılmış ve birbirine karışmış bir özellik kazanır. Göktaşında oluşan şok dalgalarıysa göktaşının zemine değdiği kesimden içeri doğru yayılarak göktaşını sıkıştırır; bu dalgalar cismin arka ve yan kesimlerine doğru azalır ve buradan geri yansır. Böylece göktaşının belirli bölümleri, dışarı doğru yayılan kayaç kütlesi ile kaynaşır, ama büyük bölümü parçalar halinde çevreye yayılır.

Şok dalgaları çevreye yayıldıkça şiddetini yitirir. Sıkışma sonucu oluşan tahribatın oranı, çarpma noktasından çevreye doğru giderek azalır. Asıl tahribat çarpma bölgesinde meydana gelir, buna karşılık kayaç kütlesinin bütününde herhangi bir biçim değişikliği görülmez.

Kraterin oluşumu için seyrelme dalgalarına gereksinim vardır. Bunlar, ilerleyen sıkışma dalgalarının serbest yüzeylere (Yer-hava arakesiti) ya da çatlaklar gibi süreksizliklere ve

değişik fiziksel özelliklere sahip kayalara rastlaması sonucunda oluşur. Seyrelmeler kayaç ortamda gerginlik yaratarak çeşitli birimlerde çatlamalara, kopmalara yol açar. Bu kırılan parçalar zaten hareketli durumda olduklarından momentumlarını koruyarak kraterin dışına fırlarlar. Bu parçaların çoğu kraterden dar açılarla fırlar ve kraterin çevresindeki çökelleri oluşturur. Daha geniş açılarla fırlayanlar ise gene çukura düşerek krater breşlerini oluşturur. Ama bazıları da aşağıya doğru taşınarak krater tabanında moloz çökelleri olarak toplanır.

Krater zemininin altındaki ya da çeperlerinin dış bölümündeki kayaçlar kıvrılabilir, kırılabilir ya da girintili çıkıntılı bir yapı kazanabilir. Özellikle kraterin ağız bölümünün çevresindeki katmanlı yapılar kıvrılarak son derece karmaşık örtüler durumuna gelebilir.

İlk sıkışma aşamasında şok cephesinin gerisindeki malzemeler, dinamik sıkışma dayanımlarının çok ötesindeki bir basıncın etkisi altında kalır. Bu koşullar altındaki kayaçlar akışkan özelliği(hidrodinamik hal) gösterir. İlk seyrelmeler göktaşı ile zeminin arakesitinde, daha sonrada göktaşında oluşur. Sıkışmanın azalmasıyla akışkan haline gelen malzeme, kızgın bir jet biçiminde fişkirir ve camsı takilitleri oluşturur. Küresel şok dalgası dışa doğru yayıldıkça, cephenin arkasındaki sıkışmış malzeme ile göktaşı birleşerek çevreye saçılır. Çarpma hattının altındaki parçacıklar öncelikle aşağıya doğru yol alır. Yukarı doğru çıkıldıkça parçacıklar bu doğrultudan sapmaya başlar. Kraterin aşağıya ve yana doğru büyümesi ile dışarıya parçacık fırlaması eş zamanlı bir süreç olarak gelişir. Gerilim, malzemelerin dayanımının altına düştüğünde ya da momentum parçaları daha ileri taşıyamayacak duruma geldiğinde krater oluşumu sona erer.

Bir çok araştırmacının dikkate almadığı gelme açısı parametresi, aslında krater oluşumunu çok etkileyen bir olaydır. Kraterin boyutu, şekli, derinliği, şok dalgasının hareketi, atılan materyalin dağılımı vb. gibi birçok krater özelliği, gelme açısından etkilenir. Kraterlerin çoğunun dairesel olmasına rağmen, meteoritlerin tüm açılarda çarpıyor olduğu artık bilinmektedir.

Sonuç olarak; kraterler yersel gezegenlerin bir kısmında tarafından yok olma özelliği gösterir. Ancak bu, çok yavaş gelişen bir süreçtir ve bu yüzden krater oluşumu

evresinden sonra ortaya çıkan krater, genellikle gezegenin son görünüşüne ait bir olgudur. Ve yine bu yüzden krater oluşumu evresinin fiziğinin çeşitli deneyler, gözlemler ve modellemelerle belirlenmeye çalışılması önemli bir anlam taşımaktadır. Ayrıca, uzaydan gelen bir meteoridin oluşturduğu bir krater, meteorit parçalarını içerebileceğinden, bu parçalar üzerinde araştırma yapılabilmesini mümkün kılacaktır.

KAYNAKLAR

1. Hodge, Paul W. 1994. "Meteorite Craters and Impact Structures of the Earth". Cambridge University Press, Syf 123, Cambridge, New York.
2. İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü & Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü. 1996. "X. Ulusal Astronomi Kongresi". Syf 483, İstanbul.
3. <http://www.umich.edu/~gs265/meteor.htm>
4. www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2001/pdf/1902.pdf