

# GÜNEŞ GRANÜLLERİ İÇİN PLAZMA SİMÜLASYONU

Gülçin Kandemir ve Cennet Kaya

İ.T.Ü., Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, İstanbul

## ÖZET

Granüllerin içinde yukarı doğru olan madde hareketi granüller arası bölgede aşağı doğrudur. Granüller zamanla genişleyip daha küçük granüllere bölünür; bunlar da birleşip yeni granüller oluşturur. Güneşteki bu madde hareketleri çok sayıda araştırmacı tarafından incelenmiş ve hidrodinamik temele dayanan simülasyonlar yapılmıştır. Bu çalışmada ise konveksiyonu belirten klasik hidrodinamik hesaplamalar yerine granülleri soğuk bir plazmada zıt yönde hareket eden yüklü parçacıkların kararsızlığı sonucu ortaya çıkan oluşumlar olarak sorgulamak denendi. Granüller ve granüllerarası ortama ait hızlar kabul edilerek plazma hareketi sonucu faz uzayında ortaya çıkan girdaplar ve non-lineer bölünmeler incelendi. Bu oluşumların gözlemlere ve klasik yöntemli simülasyonlara uygun olduğu görüldü.

## 1. GİRİŞ

Güneş kromosfer ve koronasının ısınmasına neden olan sürecin güneşin konveksiyon bölgesi olduğuna inanılmaktadır. Güneş granülleri de bu konveksiyon bölgesinin fotosferde gözlemleyebildiğimiz uzantıları olarak düşünülmektedir. Granüllerin ortalama yaşam süresi 8 dakika ve boyutları 1000-2000 km kadardır. Güneş yüzeyindeki enerji akısının ancak çok küçük bir miktarı radyasyonla iletilir; iletimin büyük bir miktarı konveksiyon yoluyla sağlanır yani enerji granül hareketi ile yüzeye taşınır. Hidrojenin iyonlaşması sonucu yüzeye yaklaştıkça absorpsiyon katsayısı hızla artar; bu

nedenle radyasyonla iletim çok azalır. Konvektif hızlar fotosferdeki spektrel çizgilerin genişleyip şiddetlenmesini açıklar. Granüllerde parçacıklar ancak km/saniye mertebesinde hızlarla yükselir ya da aşağı inerken bu hareketin bir kısmının fotosfer maddesine aktarıldığı sanılmaktadır. Parçacıkların bu hareketi sonucu absorpsiyon çizgilerinde oluşan Doppler kaymaları çizgiyi zikzaglı bir biçime sokmaktadır. Zikzagların büyüklüğü granüllerin boyutuyla orantılıdır. Granüllerdeki madde hareketinin hızını ölçmek için güneş spektrum çizgilerinin asimetrisinden yararlanılmaktadır (1).

Dravins v.d. granüllerin simülasyonu ile fotosferde gözlenen asimetrisi ve dalga boyu kaymalarını açıkladılar (2).

Nordlund hidrodinamik ve radyatif transfer denklemlerini kullanarak ve yatay dalgalanmaları iki boyutlu Fourier serisi ile temsil ederek granüller için simülasyon yaptı.  $3600 \times 3600 \times 1500$  km'lik bir birim hücreyi Fourier bileşenlerine ayırdı. Güneş yüzeyindeki parlaklık değişimleri gözlenen granül özelliklerini taşıyordu. Granüller zamanla genişleyip daha küçük granüllere bölünüyordu; bunlar da birleşip büyüyordu. Parçalanma süresi birkaç dakika idi. Yukarı çıkan granül maddesinin hızını aşağı inenden daha az buldu. Nordlund ayrıca granüllerden kaynaklanan çizgi asimetrisini de sentetik çizgi profilleriyle hesaplamaktadır (3).

Genel kanı makroskopik boyutlu hareketin gözlemlenen spektroskopik olaylara neden olduğudur. Granüllerin birkaç dakikada kayboluşu gibi olaylar şimdiye kadar hidrodinamik yaklaşımla açıklanmaya çalışılmıştır. Bu yaklaşım kesin bir açıklama getirmediği için güneş yüzeyindeki plazmanın mikro kararsızlıklarının ve non-lineer olaylarının bu olaylara neden olup olamayacağı sorgulanmalıdır.

## 2. İKİ AKINTI KARARSIZLIĞI

Maxwell ve Vlasov denklemleri kullanılarak yapılan plazma simülasyonu ile granüllerde mikrokararsızlık oluşumunu incelemek denenebilir. Bu amaçla uygulanan bir boyutlu ESI elektrostatik plazma programı elektrostatik kararsızlığı incelemektedir (4). Elektrostatik kararsızlık yüklerin biraraya toplanması sonucu oluşur. Elektromagnetik kararsızlıkta olduğu gibi bir akım yoğunluğunun artması sözkonusu değildir; ya da  $\nabla \wedge \vec{E} = 0$  dır. Plazmanın bir bölgede tutulması sırasında oluşan kararsızlıkların en hızlı büyüyen ve en yıkıcı olanı elektrostatik kararsızlıktır (5).

Granüllerdeki konveksiyon hareketi sırasında mikro kararsızlık oluşması beklenebilir. Çünkü granülün içinde yukarı çıkan ve granüllerarası bölgede aşağı inen yüklü parçacıklar yer yer zıt yönlerde akan iki plazma akıntısı oluşturacaktır. Karışmaya başlayan iki akıntı yüklerin yer yer toplanmasına neden olacaktır. Aynı işaretli ( $q_1, q_2 \geq 0$ ) yüklü parçacık akıntılarında  $\lambda/2$  uzaklığında yük gruplaşmaları oluşur. Bunların oluşturacağı kuvvetli elektrik alanlar ise yüklerin ivmelenmesine neden olur. Böylece bir akıntıda başlayan yoğunluk pertürbasyonu öteki akıntıda parçacıkların üstüste binmesiyle yeni kuvvetler oluşturarak büyür. Pertürbasyon zamanla eksponansiyel olarak artar. Kararsızlığın oluşmasıyla sürüklenme kinetik enerjisi azalır; her iki akıntı yavaşlar. Dağılım Maxwellien gibidir. Çarpışma yoksa bile girişen akıntıların termalize olduğu söylenebilir. Termal hız,  $v_t$  artıp sürüklenme hızı,  $v_0$  azaldıkça büyüme yavaşlayıp durur. Soğuk plazmalarda  $v_t \sim \frac{v_0}{1.3}$  olunca eksponansiyel büyümenin duracağı gösterilmiştir (6). Fakat doğrusallık bozulduğu için eksponansiyel büyüme dursa da  $v_t \geq v_0/1.3$  den sonra da büyüme devam edebilir. Non-linear olay faz uzayında tutulan, girdap oluşturan parçacıklar yardımıyla incelenebilir.

$k = 2\pi/\lambda$  nın harmonikleri  $2k, 3k, 4k, \dots$  de non-linear oluşumlar olarak ortaya çıkar; sinüzoidal gruplar sivrileşen oluşumlara dönüşür. Bu harmonikler kararsızlıkların gelişimini değiştirebilir (7).

### 3. VERİLER

Güneş atmosferindeki parçacıkların sayısal yoğunluğu  $10^{12} \text{ cm}^{-3}$ , sıcaklık  $10^4 \text{ K}$ , plazma frekansı  $6 \times 10^{10} \text{ Hz}$ , Debye uzunluğu  $5 \times 10^{-4} \text{ cm}$ , bir Debye küresindeki parçacık sayısı  $10^2$  dir(5).

Bu veriler kullanılarak termal hız, sürüklenme hızı ve başlangıç pertürbasyonu hesaplanmıştır. Plazma nötr kabul edilebileceğinden

elektron ve iyon yoğunlukları eşit alınmıştır. ESI programı bir boyutlu olduğundan parçacık yoğunluğu  $\sqrt[3]{10^{12}} = 10^4$  dür.

Sıcaklık  $10^4 \text{ K}$  olduğundan elektronlar için termal hız,

$$v_t = \left( \frac{2kT}{m_e} \right)^{1/2} = 0.05 \times 10^9 \text{ cm/s}, \text{ sürüklenme hızı ,}$$

$v_o = v_x = 1.3 v_t = 0.07 \times 10^9 \text{ cm/s}$  alınmıştır. Hızın pertürbasyon miktarı  $2v_t = 0.07 \times 10^9 \text{ cm/s}$  olarak alınmıştır. Protonlar için

hızlar  $\sim 40$  defa daha azdır. Sistem uzunluğu  $L = \frac{\text{Toplam sayı}}{\text{yoğunluk}} = \frac{N}{n}$   $2\pi$  ya da  $20\pi$  gibi değerler için incelenebilmektedir.

Debye uzunluğu çok küçük olduğundan  $X$  deki pertürbasyon miktarı sıfır alınabilir. Güneş yüzeyinde magnetik alan zayıf olduğundan siklotron frekansı da ihmal edilebilir.

### 4. SİMÜLASYON

Granüllerin bulunduğu güneş yüzeyine ait veriler kullanılarak ESI programı yardımıyla gerçekleştirilen plazma simülasyonunda zıt yönlerde akan iki elektron akıntısı sabit kabul edilebilen bir iyon fonu üzerinde akmaktadır. Şekil 1de her yerde aynı değerlerde kabul edilerek başlatılan elektron sürüklenme hızları

daha sonra oluşan yük gruplaşmaları sonucu farklılık gösterir. Şekil 2 de faz uzayında ortaya çıkan sinüzoidal eğriler plazma salınımları sonucu oluşur.

Güneş yüzeyi , soğuk plazma sınırı olarak tanımlanan  $10^4$ K-lik sıcaklıktadır. Dolayısıyla termal hız nedeniyle faz uzayı diyagramlarında parçacıklar belli bir alana saçılmakla birlikte bu saçılmanın fazla olmadığı görülmektedir.  $t=0$  da  $v_x=0$  olan sürüklenme hızı faz diyagramında  $\pm 3 \times 10^9$  cm/s= $\pm 300$ km/s değerlerine yükselip periyodik olarak eski değerine dönmektedir. Gruplaşma yapan elektron akıntıları ise faz uzayında girdaplar oluşturmaktadırlar.  $\sqrt{m_i/m_e} = 42.8$  olduğundan protonlar için sürüklenme hızı 7.0 km/s ye inmektedir. Daha ağır iyonlar için sürüklenme hızı daha da yavaşlayacaktır. Simülasyon sonucu ortaya çıkan bu hız değerleri gözlemlerle saptanan birkaç km/s-lik hızlarla uyumludur.

Dakika mertebesinden bir süre sonunda faz uzayındaki gruplar iyice kaynaşmakta ve girdap halkaları tamamen kaybolmaktadır. Termal hız daha da arttığında oluşan non-linear olaylar incelenebilmektedir; faz uzayında yeniden girdaplar oluşabilmektedir.

## 5. SONUÇ

Plazma kararsızlığı güneş yüzeyine ait verilerle incelendiğinde gerek linear, gerek non-linear olayların simülasyonu ile mikro ölçekteki hızlar ve oluşumlar için geçen süreler granüllerdeki gözlem sonucu bilinen hız ve sürelerle uygundur. Ayrıca büyük boyutlar için daha önce yapılmış simülasyon sonuçlarına

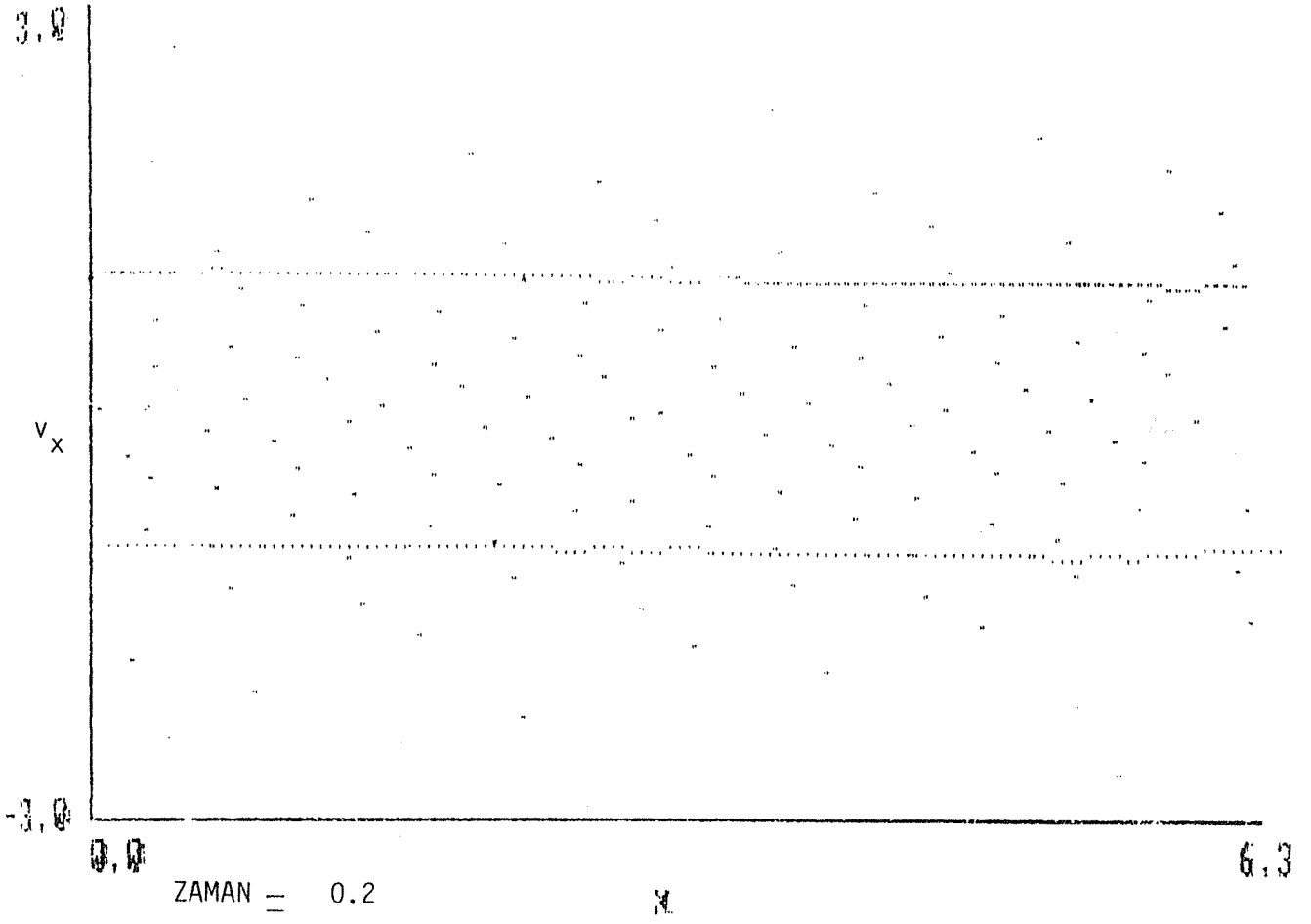
da uymaktadır. Bu uyum rastlantısal değilse aralarında nasıl bir ilişki olabileceği incelenmelidir.

#### TEŞEKKÜR

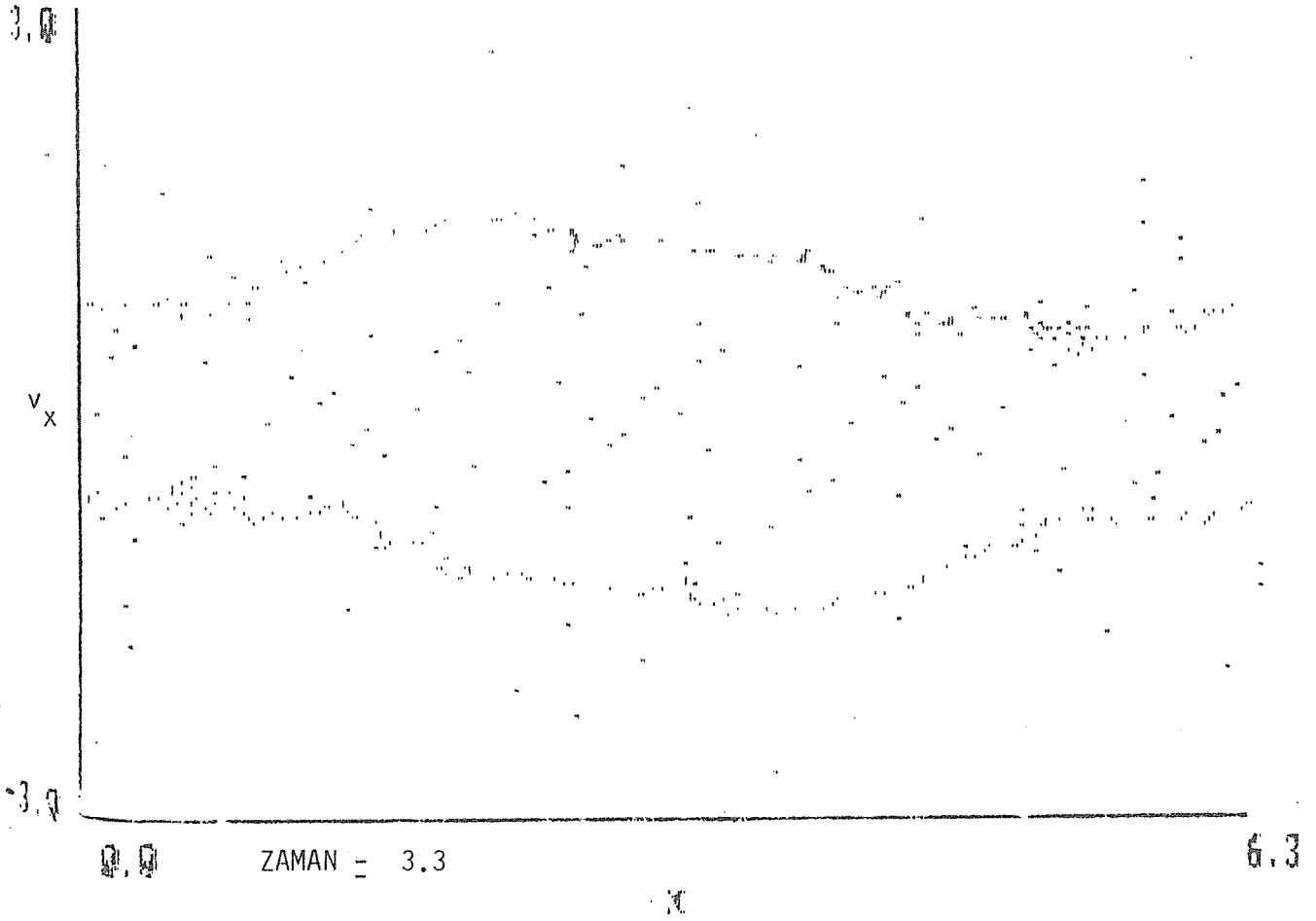
Çalışmalarımıza yön vermek üzere konunun Ulusal Astronomi toplantısında tartışılmasına ve basımına olanak sağlayan ODTÜ elemanlarına teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR

- (1) Stathopoulou, M. ve C.E. Alissandrakis, "A Study of the asymmetry of Fe I lines in the solar spectrum", *Astron. Astrophys.*, 274, 555-562, (1993)
- (2) Draviş, D., L.Lindgren ve Å . Nordlund, "Solar Granulation: Influence of Convection on Spectral Line Asymmetries and Wavelength Shifts", *Astron. Astrophys.*, 96, 345-367, (1981)
- (3) Nordlund, Å, "Numerical Simulations of the Solar Granulation", *Astron. Astrophys.*, 107, 1-10, (1982)
- (4) Birdsall, c.K. ve A.B. Langdon, "Plasma Physics via Computer Simulation", McGraw-Hill, (1985)
- (5) Krall, N.A. ve A.W. Triebel, "Principles of Plasma Physics", Mc Graw-Hill, (1973)
- (6) Stringer, T.E., "Electrostatic instabilities in current-carrying and counterstreaming plasmas", *J.Nucl. Energy, Part c, (Plasma Physics)*, C6, 267-279, (1964)
- (7) Ishihara, O., A. Hirose ve A.B. Langdon, "Non-linear evolution of Buneman instability", *Phys. Fluids*, 24, 452-463, (1981)

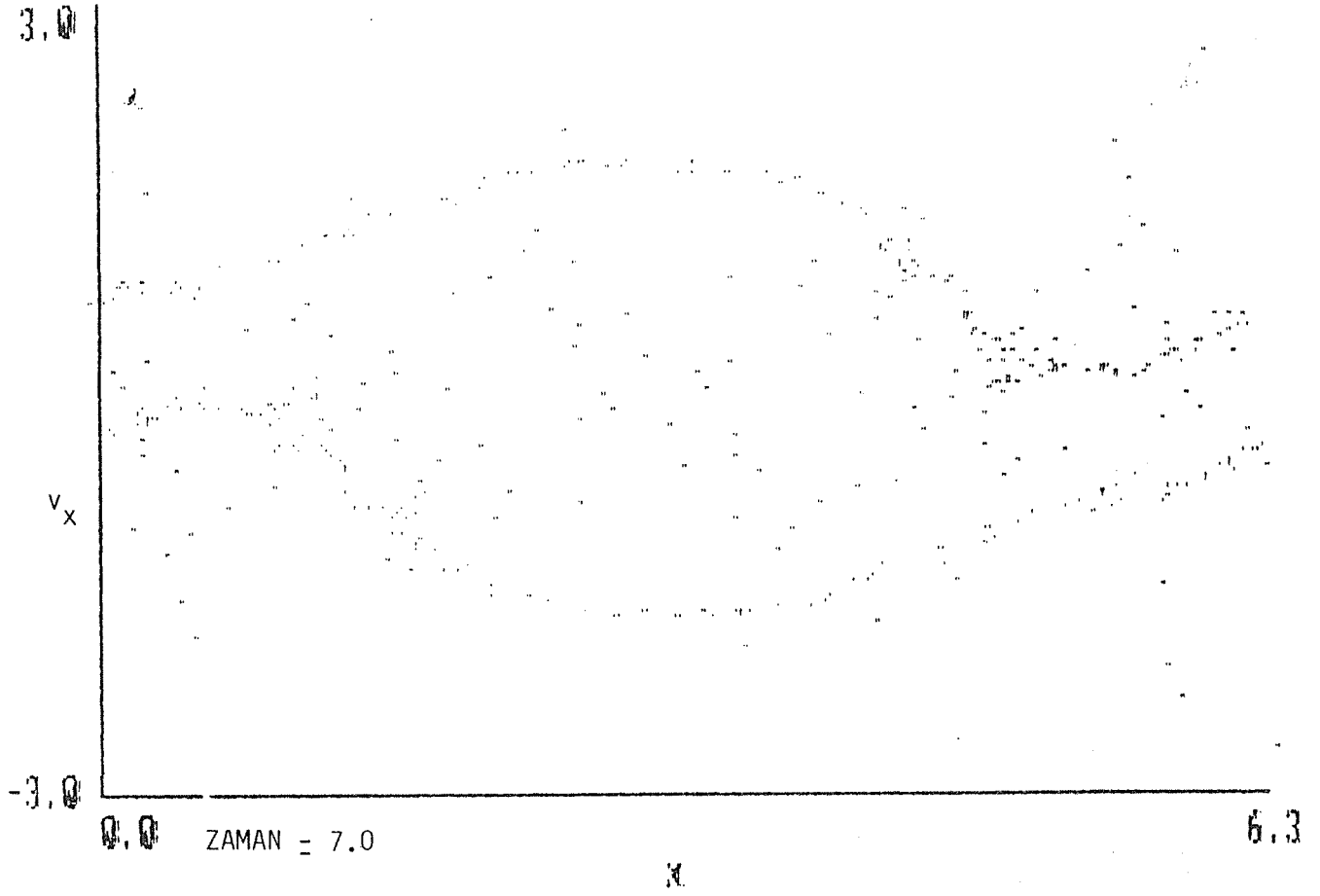


Sekil 1.  $t = 0.0$  saniyede iyon fonu üzerinde aynı hızdaki elektronlar

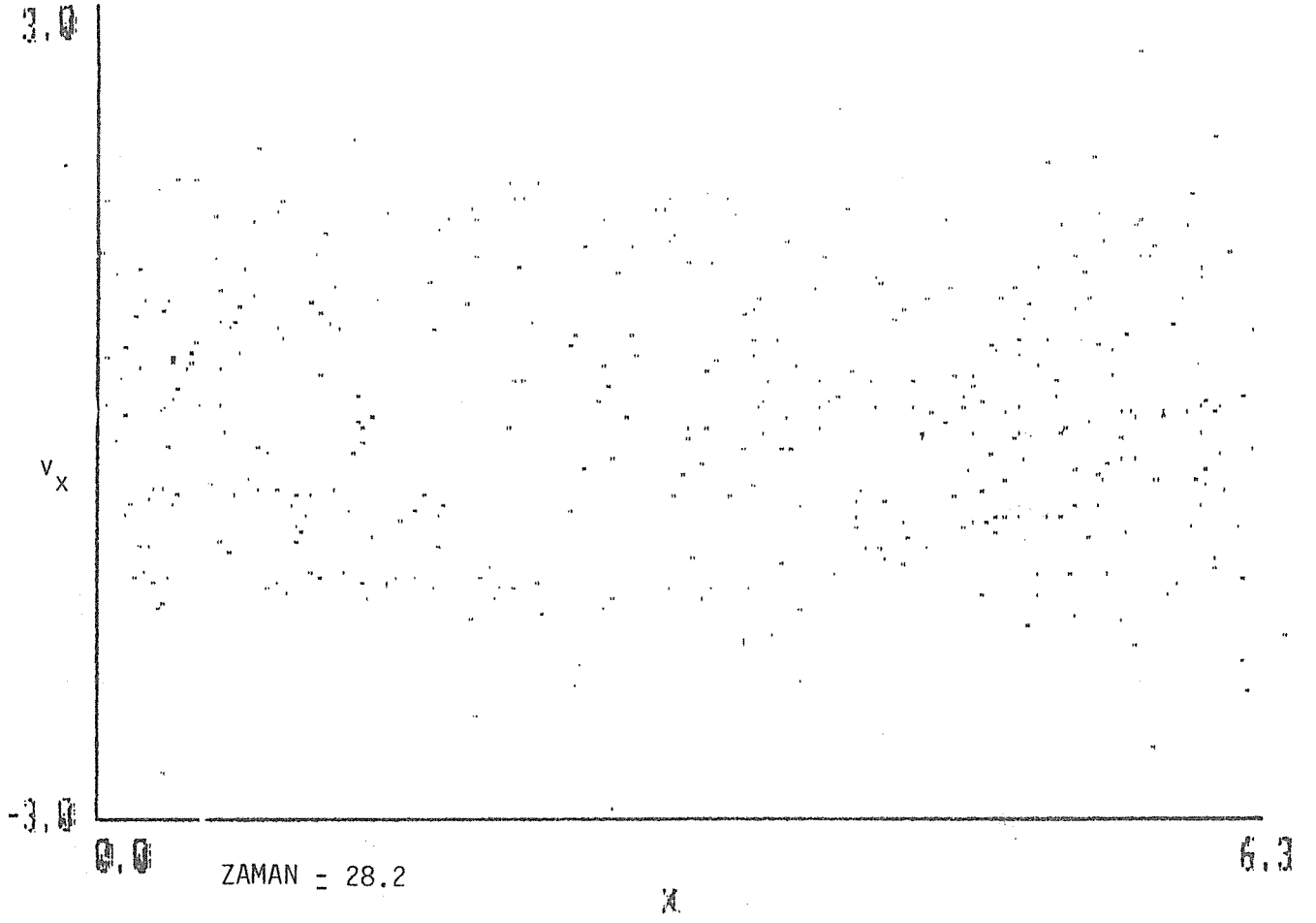


Sekil 2.  $t = 3.3$  saniyede faz uzayında gözlenen sinüzoidal oluşum





Şekil 3.  $t = 7.0$  saniyede faz uzayında gözlenen girdap



Şekil 4.  $t = 28.2$  inci saniyede parçacıkların faz uzayında iyice karıştığı görülüyor.