

ETÜDLER

SİSMOLOJİ TARAFINDAN İŞAR EDİLDİĞİNE GÖRE ARZ İÇİ

1. GİRİŞ :

Sismolojinin, sadece fizikî metodların zelzele karakteristikleri etüdlerine tatbikinde değil, aynı zamanda zelzele kayıtlarından elde edilmiş donelerin arzın iç strüktürü hakkında kemmî malûmat vermek hususunda istimalinde de faideli olduğu bu asır esnasında anlaşıl-mıştır.

Büyük bir zelzelenin membarında veya mihrak noktasında serbest bırakılan enerji, 10^{25} erglik bir değer alabilir. Bu değer, 24 Temmuz 1946 yılında Bi-kini'de patlatılmış olan, atom bombası-nın tevhit ettiği enerjinin takriben 10^5 misli ve 1954 yılında vuku bulmuş hid-rojen bombası infilâklarında tezahür eden muhtemel enerjinin 100 ilâ 1000 mislidir. Enerjisi azamî değerden çok daha az olan zelzeleler bile, bütün haricî satıhtaki noktalara vusullerinde kaydedilebilmelerini mümkün kılacak bü-yüklükte amplitüde malik dalgaları, arzın içinden satha kadar gönderebilirler. 600 den fazla sismolojik rasathaneler vardır ve bu rasathanelerde elde edilen kayıtlar veya sismogramlar, arzın dahilî tabakatına mütedair istihraçları müm-kün kılan ham maddeyi temin ederler.

Bu ham maddeden istifade edilmesi için sismik dalga transmisyonu teorisine ihtiyaç vardır. Bu maksatla, arz yakla-şık olarak mükemmel bir izotropik cisim gibi düşünölmüş ve lâyetecezza (infini-tesimal) deformasyon (infinitesimal strain) teorisi kullanılmıştır. Bu mua-mele elâstik karakteri tavsif için p ile irae edilen kesafetten maada iki elasti-kiyet sabitesinin kullanılmasını icab ettirir. Burada bu sabitelerden inkompre-

K. E. BULLEN

sibilite (hacmi elâstikiyetsizlik) veya «bulk-modulus»ü k ile ve rijiditeyi (şekil elastikiyetini) m ile irae etmek uy-gun olur. İnkompresibilite, tatbik edil-miş simetrik bir tazyike maddenin gös-terdiği rezistansı ölçer, halbuki rijidite bir sathı vahide tatbik edilmiş olan dis-torsiyon gerilme kuvvetine (distorsiyonal stres) karşı gösterilen rezistansı ölçer. Nazariyede kullanılan takribiyetten mü-tevellit inhirafların nazarı itibara alın-masını icab ettiren problemler vardır, fakat bu basit nazariye, aşağıdaki husu-satta yapılacak istihraçlar için elveriş-li-dir.

« Sulp » ve « mayi » terimleri, arzın derinde bulunan iç kısmı ile ilgili ola-rak kullanılacaktır ve yüksek tazyiklerin mevcudiyetine binaen izahata lüzum vardır. Eğer arz içindeki bir maddenin tavrıhareketini izah eden gerilme kuv-veti - deformasyon münasebatı, laboratu-vardaki mükemmelen elâstik izotropik sulplere tatbik edilen gerilme kuvveti-deformasyon münasebatı gibi aynı riya-zi şekle malik iseler, -bu maddeye sulp denilecektir ve k ve m sabiteleri bu mü-nasebetlerde faktör olarak gözükecekler-dir. Bundan maada bir maddeye sulp denilebilmesi için k ve m sabitelerinden herbirinin 10^{10} dyn/cm² değerinden da-ha büyük olması şart koşulacaktır. Mayi terimi kullanıldığı zaman aynı izahat cari olup, yalnızmsabitesinin 10^{10} dyn/cm² değerinden küçük olması şart koşulacak-tır. 10^{10} dyn/cm² değeri, vazıh bir tarif yapmak maksadı ile müsait bulunduğu için seçilmiş olup, hiç bir özel fizikî mâ-nası yoktur.

Mükemmel elastikiyet farz edilmiş olduğundan bu teori, arzın sulp kısımlarında elastikiyet bakımından ve mayi kısımlarında viskozite yönünden zuhur edebilecek mümkün gayri mükemmeliyetleri nazarı itibara almaz. Böyle gayri mükemmeliyetler buradaki maksat için mühim değildirler.

Umumî elastikiyet nazariyesi, yukarıda tarif edilmiş olan sulp bir vasat içinden, iki tip hacim dalgasının geçirilebileceğini göstermektedir. Bunlardan birincisi kompresyonal veya dilâtasyonal (hacmi) bir değişme neticesinde husule gelen preliminere veya P dalgası olup sürati (a)

$$\alpha^2 = \frac{3k + 4\mu}{3\rho} \quad (1)$$

formülünden elde edilir.

Rotasyonal olan ikincisi sekonder veya S dalgası olup sürati β

$$\beta^2 = \frac{\mu}{\rho} \quad (2)$$

formülünden bulunur.

Bir mayi için μ nispeten küçük olduğundan takriben :

$$\alpha^2 = \frac{k}{\rho} ; \beta = 0 \quad (3)$$

İlâveten bir zelzele, satih dalgalarına sebebiyet verir ki, bu nevi dalgalarda zerreciklerin hareketi umumiyetle arzın dış sathı civarına inhisar eder. Bu dalgalar, 30 ilâ 40 metre kalınlığındaki en dış kısmının strüktürü hakkında malûmat verdiklerinden mühimdirler. Fakat bu konuşma esas itibarı ile çok derinlerdeki arz içini ilgilendirdiğinden, burada umumiyetle hacim dalgaları nazarı itibara alınacaktır.

2. Sismik Dalgaların Varış Zamanı (Zaman Mesafe) Cetvellerinin İnkişafı

Genel olarak sismogramlar, görünüş itibarı ile pek muğlaktır. Satih dalgaları gibi, Hacim dalgaları da, formas-

yonların dahili ara satihlerinde vukua gelen yansımalar (refleksiyonlar) ve kırılmalar (refraksiyonlar) tarafından meydana getirilen ve harici satihde hadise olan yansımalar tarafından husule getirilen bir çok dalga gruplarına sebebiyet verirler. Özel dalga gruplarının zaman-mesafe münasebetleri, amplitüdlere ve periyodları hakkında kıymetli malûmat elde edilir. Ekseriyetle derinlerdeki arz içinin evsâfını istidlal etmek hususunda daha dakik doneler, varış zamanlarının okunmaları sureti ile elde edilmiştir ve umumiyetle donelerin bu kısmı müteakip referanslarda kullanılacaktır. (Mamafih, amplitüdlere ve periyodlara müteakip doneler faydeli yardımcı bir rol oynarlar.)

Varış zamanlarının muamelesinde, optikte olduğu gibi aynı şekilde ve aynı limitasyonlarla şua nazariyesinden istifade edilir. Bir sismogram'ın «fazı» özel bir dalga-grubu ile birlik halindedir ki, bu gruba tekabül eden şua özel bir yol çizer; burada zelzelenin mihrakından (fokus) rasathaneye kadar şuanın takip ettiği yolun muhtelif kısımlarındaki P veya S dalga tipleri de nazarı itibara alınmıştır.

Bu asrın büyük işlerinden biri, bir sismogram üzerinde müşahade edilen büyük sayıdaki fazlar için şualar boyunca dalgaların zaman-mesafe (varış zamanı) münasebetlerini veren güvenilir sismolojik zaman-mesafe cetvellerinin inkişaf ettirilmiş olmasıdır. Basit başlangıçlardan başlayarak, Göttingen'den ZÖPPRITZ, bu asrın ilk on senesi zarfında faydeli cetveller istihraç etti ve Oxford'dan TURNER tarafından adapte edilen bu cetveller, 1929 yılı sonuna kadar vukua gelen zelzeleler hakkında Enternasyonal Sismolojik Özetin (L S. S.) hazırlanmasında kullanıldı. 1928 yılına kadar cetvellerde radikal ıslahat yapmak için kâfi miktarda donelerin toplanmış olduğu kanaati vardı. 1930 yılından 1940 yı-

lına kadar olan on yıllık müddetin büyük bir kısmı esnasında esaslı revizyonlar, GUTENBERG ile RİCHTER ve JEFFREYS ile bizzat benim tarafımdan yapılmıştır ki, bu revizyonlar neticesinde standard hataları birçok hallerde, ZÖPPRITZ-TURNER cetvellerindeki hataların onda birinden daha az bir seviyeye irca eden cetveller meydana getirilmiştir. Z.-T. cetvelleri, arz içi hakkında birçok mühim istidlallerin yapılmasını mümkün kılmıştı, fakat 1940 yılında daha yeni cetvellerin tamamlanması, arz içi tabakalaşmasının çok daha vazıh bir şekilde tasvirini mümkün kılan bir safhayı meydana getirmiştir.

JEFFREYS - BULLEN cetvelleri, 1936 yılı aralık ayındanberi vukua gelen zelzeleler için Enternasyonal Sismolojik özetin (I.S. S.) telif edilmesinde kullanılmıştır. (J.-B. cetvellerinin bir preliminary versiyonu 1930-1936 yılları arasında vukua gelmiş olan zelzeleler için Enternasyonal Sismolojik özetin hazırlanmasında kullanılmıştır.) J.-B. cetvelleri kürevi bir simetriye malik olan bir standard arz modeline mütedairdir ki, standard arz modeli içindeki aynı sürata sahip olan her bir kürevi iç sathın, hakikî arzın buna tekabül eden düz sathın ihata ettiği hacim kadar bir hacim ihata etmesi lâzımdır. Arzın beyziyeti için gerekli tolerans ayrı cetveller kullanılmak sureti ile nazarı itibara alınmıştır. Arzın kürevi simetriden inhirafını intaç eden diğer sebepler için tolerans payları ayrılmamıştır; zira bunlar nispeten cüzi ve tolerans payları henüz katî olarak bilinmemektedir. Arzın en dış tabakaları müstesna (beyziyetten mütevellit inhiraf bir tarafa bırakılırsa), simetriden inhiraf, gayet cüzi görünmektedir. J.-B. cetvelleri, muhtelif fazlar için kürevi arz modelinin harici sathındaki bir çift nokta arasındaki T varış zamanını, şua tarafından arzın merkezinde teşkil ve A ile irade edilen açısız mesafe (angular distance) cinsinden ve-

rirler. (Bu cetveller aynı zamanda muhtelif fokus derinliklerinden itibaren harekete geçen şuaların da varış zamanlarını verirler.)

3. Arz İçinde P ve S Dalgalarının Sürat Tevziatı

Bir entegral muadelesinin hallini istihdaf eden riyazi bir âmeliye neticesinde, arzın her yerinde P—dalgalarının a sür'at değerleri ile sathihtan 2900 km. derinliğe kadar uzanan arz içindeki S dalgalarının, (5 sürat değerlerini, varış zaman cetvellerinden istihraç etmek mümkündür. Merkeze olan r mesafesine binaen v süratinin gösterdiği tahavvülâtın:

$$\frac{dv}{dr} \leq \frac{v}{r} \quad (4)$$

şartını ihlâl ettiği derinlik menzilleri için bu metod formül bakımından kabili tatbik değildir.

Derinliğe nazaran $\frac{dv}{dr}$ sürat grafiyentinin pozitif veya eğer negatif ise oldukça küçük olmasını icab ettiren mezkûr şart (4) arzın ekseri kısımları için tatmin edilir; fakat şart (4) ün ihlâlinden mütevellit muhtemel muğlaklıkların, mevcut olduğu bazı mahdut derinlik menzilleri vardır. Hattâ şart (4) tatmin edilse bile, süratin derinlik artması ile anormal şekilde hızla arttığı derinlik menzillerinde doneler, sürat tevziyatını iyi bir sıhhatle tâyin edemezler. Bu sebeplere binaen, sürat tevziyatı, arzın bazı derinlik menzilleri için, diğerlerine nazaran daha iyi tâyin edilir.

Mühim olan eski bir netice, 1909 yılında Hırvatistan'da vuku bulmuş olan zelzelenin etüdü esnasında, A. MOHOROVICIC tarafından sathihtan birkaç 10 kilometre aşağıda bulunan bir inkıtân (discontinuity) keşfi idi. Daha yeni zelzeleler hakkında yapılan birçok müteakip etüdlerle tamamlanmış olan bu

mesai, MOHOROVICIC inkıtının üstündeki kışri tabakalar ve altındaki mıntaka olmak üzere arzın iki kısma ayrılmasını intaç etmiştir. Bu kışri tabakalar, bazı dađ silsileleri civarında daha kalın olmak üzere ekseri kara mıntakalarında 30 ilâ 35 kilometre kalınlıkta ve esas deniz diplerinin altına isabet eden kısımlarda da 5 ilâ 10 kilometre kalınlıkta gözükmeğtedirler. P ve S dalgalarının sūratleri kışri tabakalarda kısır - altı mıntakasındakine nazaran çok daha hızlı olarak tahavvūl ederler.

Daha büyük bir derinlikte bir inkıtın mevcudiyeti, OLDHAM tarafından sismik doneler yardımı ile 1906 senesinde tesbit edilmiş olup GUTENBERG, gayet güzel bir şekilde yaptığı bir hesap neticesinde bu inkıtın sathın altında 2900 kilometrelik bir derinlikte bulunduğunu 1913 yılında meydana çıkarmıştır. Modern doneler kullanarak JEFFREYS, bu değerin 5 kilometreden daha az bir hata ile doğru olduğunu göstermiştir. Arzın 2900 kilometre derinliğine kadar uzanan kısmına örtü (mantle) ve onun altındaki kısmına da «merkezî nüve» denilmiştir. Denizler ve tecrit edilmiş münferit magma yığınları müstesna örtü kısmı tamamen sultür; zira P dalgaları gibi S dalgaları da bu kısmın her tarafından nakledilmektedirler. S dalgalarının merkezî nüvede mevcudiyetlerine dair mevsuk müşahedelerin ademi mevcudiyeti merkezî nüvenin esas itibarı ile mayi olduğunu iş'ar eder. Bu istidlal şimdi artık diğer bir yol ile de iyice tesbit edilmiştir. Arzın haricî sulp kısmının meddücezre mâruz kalması neticesinde husul bulan çöküntüye (tidal yielding) dair doneler kutupların hareketlerine müteallik donelerle birlikte arzın umumi rijiditesi hakkında bir tahmin yapılmasına yol açmıştır. Bütün örtüye ait rijidite hakkında sismolojiden gayet iyi bir malūmat elde edilmiştir. Müteakiben merkezî nüvenin vasati rijiditesini tahmin etmek mümkün olmuş-

tur. TAKEUCHI tarafından 1950 yılında yapılan hesap, bu vasati rijiditenin 10^{10} dyn/cm² değeri geçmediğini ima etmektedir. MOLODENTSKY'nin müşabih bir hesabı daha yüksek değerde bir rijiditeye cevap vermektedir, fakat bu değeri örtünün kaidesine yakın kısımlarına ait değerden çok daha azdır. Merkezden 1250 kilometre mesafe dahilinde olan kısımlar müstesna rijiditesinin merkezî nüvenin bütün kısımlarında ihmal edilebilecek bir değerde olduğu burada farzedilecektir. (Bu istisnai mıntaka, bütün nüvenin hacim bakımından yüzde üçünden daha az olmasına binaen, TAKEUCHI'nin ve MOLODENTSKY'nin hesaplarını hissedilir bir şekilde değiştirmeden sulp olabilir.)

Daha yeni bir keşif, merkezî nüve içinde 1250 kilometre nısıf kutrundaki bir «iç nüve» nin mevcudiyetidir. Daha iyi bir ad bulunmadığından merkezî nüvenin iç nüvenin dışında kalan kısmına «dış nüve» ismi verilmiştir. Merkezî nüvenin varlığı, $105^\circ < \Delta < 142^\circ$ değeri için verilen sığ-mihraklı bir zelzeleden P dalgaları için bir gölge zonunun mevcudiyeti ile tesbit edilmiştir. Fakat gölge zonu tam bir gölge değildir. 1936 senesinde Bayan I. LEHMANN, gölge zonunda okunan P dalgalarına ait muayyen küçük değeri izah etmek için bir iç nüvenin mevcut olduğunu farzetmiştir ve bu faraziye GUTENBERG ile RICHTER'in 1938 yılında yaptıkları çalışma ile desteklenmiştir. Nihayet, JEFFREYS 1939 senesinde gölge zonundaki dalgalardan bazılarının, örtü ile merkezî nüve arasındaki hudut boyunca vukua gelen difraksiyon neticesinde husule geldiklerini ileri sürecek ikinci bir faraziye ile kabili telif olmayacak amplitüdlere sahip olduklarını gösterdi. Gösterileceđi veçhile iç nüvenin sulp olduğuna inanmak için sebep vardır.

1940 senesinde J. - B. cetvellerinin tamamlanmasını müteakip sūrat tev-

ziatı hakkındaki malûmata daha fazla tafsilât ilâve edilmiş ve arz aşağıdaki hülâsaya göre sekiz mıntakaya ayrılmıştır. Cetveldeki sùratler esas itibarı ile JEFFREYS tarafından hesaplanmış olan sùratlerdir.

büyükükte gradiyentlerin varlığını sa-
rahaten göstermektedirler ve bu sebeple
B ve C mıntakalarındaki sùratler için
dakik bir hal şekli bulmak güçtür.
Her nekadar JEFFREYS ve GUTENBERG
tarafından elde edilmiş olan gradiyentler

Mıntaka	İsim	Derinlik menzili (km)	α (km/san)	β (km/san)
A	kıvrı tabakalar	0 — 33	çok mütehavvil	çok mütehavvil
B		33 — 410	8.1 — 9.0	4.4 — 5.0
C	örtü	410 — 1000	9.0 — 11.4	5.0 — 6.4
D'		1000 — 2700	11.4 — 13.6	6.4 — 7.3
D''		2700 — 2900	13.6	7.3
E	dış nüve	2900 — 4980	8.1 — 10.4	sıfır farzedildi
F		4980 — 5120	10.4 — 9.5	müşahede edilmedi
G	iç nüve	5120 — 6370	11.2 — 11.3	müşahede edilmedi

Yukardaki cetvelde gösterilen mın-
takalar arasındaki hudutlar, A ile B ve
D'' ile E arasındakiler müstesna, sıhhat-
le tâyin edilmemiştir. Formülün JEFFREYS
tarafından halli G mıntakasını P ve S
dalgalarına ait sùrat gradiyentlerinin B
ve D mıntakalarına nazaran çok daha
dik olan bir bölge olarak iş'ar etmekte
ve gradiyentin takriben 410 kilometre
derinlikte ani değişmeler kaydettiğini
göstermektedir; fakat C ve D bölgesi
arasındaki hudut boyunca sùratlerde
veya gradiyentlerde hiçbir inkıta mevcut
değildir. Dięertaraftan GUTENBERG 410
kilometre civarında hiçbir ani değişme
bulmamış, fakat 1000 kilometre civarın-
da gradiyente ani azalmalar bulmuştur.
GUTENBERG de P ve S dalgalarına ait
sùratlerin B - mıntakasının 100 kilometre
kalınlığındaki en üst kısmı dahilinde
derinlikle şart (4) ü ihlâl edecek şekilde
hızla azaldıklarını kabul ediyor. Sismik
doneler, B ve G mıntakalarını ihtiva eden
bölge dahilinde bir yerde anormal

B ve G mıntakalarında birbirinden
fazlaca farklı görünmekte iseler de
bizzat sùratler takriben yüzde üç gibi
bir farkla mutabakat halindedirler. Bn.
LEHMANN son zamanlarda B ve G mın-
takaları arasındaki hududun, şimdiye
kadar mevcut donelere göre, 200 kilo-
metre kadar bir derinlikte olduğunu
göstermiştir. Bn. LEHMANN m tahavül-
lerinin, arzın bu kısmındaki anormallik-
lerin umumiyetle müsebbibi olduğunu
düşünmektedir.

JEFFREYS ve GUTENBERG tarafından
elde edilmiş sùrat değerleri, D' ve D''
mıntakalarında çok daha yakın bir mu-
tabakat halindedirler. Sùratler D' mın-
takasında, yukardaki mıntakalardakine
nazaran çok daha muntazam bir şekilde
tahavül etmektedirler ve BIRCH, D'
mıntakasının takriben kimyevi bir ho-
mojenitede olduğu lehinde kuvvetli bir
mütalâada bulunmuştur. D'' mıntakasın-
da her iki P ve S gradiyentleri takriben
sıfır olurlar.

Dış nüve E ile iç nüve G arasında JEFFREYS, negatif sürat gradiyenti ile karakterize edilen bir (F) intikal tabakasının mevcudiyeti hakkında delil, 9 ocak 1932 tarihinde Solomon Adaları ve 29 haziran 1934 de Celebes Denizi altında vukua gelmiş olan derin mihraklı iki zelzeleden elde edilen donelere istinad eder. Bu doneler, F mıntakasındaki P dalgaları sürat tevziinin mufassalan tesbitini mümkün kılmamaktadırlar ve JEFFREYS bu sürati indî olarak r mesafesine mütenasip bir şekilde almıştır. GUTENBERG henüz bu F mıntakasını bulmamıştır, fakat donelerinin onun mevcudiyetini imkânsız kılmıyacağını beyan etmiştir.

JEFFREYS'in elde ettiği neticelere göre, F ile G mıntakaları arasında P dalgası süratinden yüzde on sekizi bulan bir atlama vardır. GUTENBERG'in elde ettiği neticelere göre, dış ve iç nüveler arasında süratte hiçbir inkıtai atlama yoktur, fakat takriben 100 kilometrelik bir derinlik menzili üzerine yayılmış olan, yüzde onu biraz aşan hızlı değişmeler vardır. Her iki muharrir tarafından bulunmuş süratler, E ve G mıntakalarında umumiyetle iyi bir mutabakat halindedirler, E dış nüvesinde gradiyentler kimyevî homojenite ile kabili teliftir, halbuki G iç nüvesinde gradiyentler normalden aşağıdadır.

4. ρ, ν, k Değerlerinin İstikakı

Madde 3 de verilen malûmat muvacehesinde a ve β ile irae edilen sismik dalga sür'atlerine ait değerlerin arzın 4980 kilometrelik bir derinliğine kadar aşağı yukarı sıhhatle bilindikleri farzedilebilir (μ değerinin E mıntakasındaki kabili ihmal olduğu burada farzedilmiştir); en büyük gayri muayyeniyetler D' mıntakasının üstündeki sürat gradiyentleri hakkında mevzuubahistir. Muadele (1), (2) ve (3) ün tatbiki k/ρ ve μ/ρ nispetlerinin de aynı şekilde 4980 kilo-

metrelik bir derinliğe kadar bilindiğini gösterir. Eğer ρ , k ve μ sabitelerine ait üçüncü bir müstakil fonksiyon değerleri de bilinmiş olsaydı, arzın ekseri kısımları için ρ , k ve μ değerlerinin distribüsyonunu hesap etmek basit bir cebir meselesinin hallinden farksız olurdu. Mamafih, böyle bir fonksiyon elde mevcut olmadığından endirekt vasıtalarından istifade cihetine gidilmesi zaruridir.

Kompresyonun adiabatik şartlara da tekabül ettiği kimyevî bakımdan homojen (mütecanis) bir mıntakada kesafet gradiyentinin formülü ile ifade edilebileceği gösterilebilir. Burada G gravitizasyon sabitesi ve m evvelce tarif edilmiş olan standard arz içindeki r nısıf kuturlu bir küre dahilindeki kitledir. Muadele (5) arz içindeki hidrostatik gerilme kuvveti faraziyesine de istinad eder; fakat bu, buradaki maksadımız için uygun bir tahmindir.

Arz kesafetinin tahavvülâtını bulmak için yaptığım bir preliminar teşebbüste, muadele (5) tarafımdan kışri tabakaların altındaki örtü kısmına arz kabuğu için konvansiyonel bir miktar tolerans, payı bütün arz kitlesinden çıkarılmak sureti ile tatbik edildi. Muadele (5)

$$\frac{d m}{d r} = 4 \pi r^2 \rho \quad (6)$$

formülü ile birlikte kullanıldı ve müteadit sebeplere binaen başlangıç değeri olarak B mıntakasının en üst kısmı için P_1 kesafetine 3.32 g/cm^3 değeri verildi. (5) ve (6) muadelelerinin entegrasyonu neticesinde, örtü mıntakasına ait bir kesafet tevziatı bulundu. Bütün arza şâmil atalet momenti iyice bilindiğinden, bu tevziattan merkezî nüvenin I atalet momentinin değerini istihraç etmek mümkün oldu, netice:

$$I = 0.57 M a^2 \quad (7)$$

olarak bulunmuştu. Burada M merkezî nüvenin kitlesi ve a ise onun nısıf kutrunu temsil eder. 0.57 emsali, merkezî

nüvede öyle bir kitle tevziatı ima ediyor ki, merkezin dış kısımları yakınındaki kesafet merkez yakınındakine nazaran oldukça daha büyüktür. Ve bu, istikrar noktai nazarından gayri mümkündür. Binaenaleyh, bu gayri mümkün neticenin dayandığı muhtelif doneler ve faraziyelerin tetkiki zarureti vardır.

Hatanın ya (a) örtüde tam bir kimyevî homojenitenin mevcudiyetini kabul eden faraziye de veya (b) p_1 için 3.32 g/cm^3 değerinin kabul edilmesindedir. Eğer P_1 için 3.7 g/cm^3 gibi yüksek bir değer alınabilseydi, muadele (7) deki emsal sabit kesafetli bir merkezî nüve için varid olan 0.4 değerine irca edilebilirdi. Jeolojik ve jeofiziki kanaat bu kadar yüksek bir değere muhalif olduğundan, izahat arz kırsı altındaki örtüde kimyevî homojeniteden bâriz inhirafların mevcudiyetinde arandı.

G mıntakası için formül (5)'i kullanmamak suretiyle yapılan tadilât nazar itibara alınarak, hesap bilâhare tekrarlandı. Bu, şeklî bir gayri muayyeniyete müncer oldu, fakat muadele (7) deki emsalde yapılması icab eden ayarlamaların, mümkün kesafet tevziatları üzerinde kuvvetli bir kontrol temin ettiği, vazıh bir şekilde meydana çıkmıştır. Muadele (5), E dış nüvesi için de kullanıldı. Merkezdeki kesafetin 12.3 g/cm^3 değerinden daha az olamayacağına dair yapılmış olan istidlal hariç, bu metodla iç nüvenin kesafeti hakkında herhangi bir tahmin yapmak mümkün olmadı. Bilâhare arzın merkezindeki kesafete indî bir şekilde, verilebilecek asgarî değerden, beş birim fazla olan 17.3 g/cm^3 değeri verilmek sureti ile model A denilen bir arz modeli yapıldı.

Bu A modelinde, (D' ve D" dahil) B, C, D ve E mıntakalarındaki kesafet değerleri $3.32-3.64$, $3.64-4.68$, $4.68-5.69$ ve $9.4 - 11.5 \text{ g/cm}^3$ hudutları arasında tahavvül ederler.

A modelinin örtüsü ile merkezî nüvesi arasındaki hudutta, kesafette 1.65 nispetinde, ani bir atlamanın mevcut olduğuna işaret edilir. Model A'ya ait bulunan bu değerlerle, hakikî arzın kesafet değerleri arasında mevcut olan en büyük mütenasip inhiraflar B ve G mıntakalarında bulunmaktadır; B mıntakasının bir kısmında kesafetler 0.4 g/cm^3 değeri kadar daha azdır. Şayet (5) muadelesi D' ve E mıntakaları için cidî bir şekilde hatalı değilse, model A'nın kesafetleri muhtemelden D' mıntakasında takriben 0.1 g/cm^3 ve E mıntakasında 0.4 g/cm^3 hata ile doğrudur.

Bu şekilde kesafet tevziatı tâyin edildikten sonra, k ve m sabitelerinin mütekebil değerlerini tesbit etmek, basit bir hesap meselesinden başka bir şey değildir. B, G, D ve E mıntakalarında k sabitesinin değerleri, her bir değer 10^{12} dyn/cm^2 birimini emsal olarak alması şartıyla, sıra ile $1.2-1.7$, $1.7-3.6$, $3.6-6.5$ ve $6.2-12.6$ değerleri arasında ve m, sabitesinin değerleri de yine aynı şart ve aynı sıra ile $0.6-0.9$, $0.9-1.9$, $1.9-3.0$ ve sıfır değerleri arasında değişirler. POISSON orantısına tekabül eden değerler sıra ile $0.27-0.28$, 0.28 , $0.28-0.30$ ve 0.50 dirler. Rijiditenin örtü mıntakasının tabanında, çeliğin atmosfer tazyiki altında sahip olduğu değer, takriben dört misline yükseldiğine işaret edilmelidir. Kesafet gibi rijidite de örtü ile merkezî nüve arasında epeyce değişir; (Takeuchi'nin hesabına göre) rijidite örtü mıntakasının tabanındaki $3.0 \times 10^{12} \text{ dyn/cm}^2$ değerinden nüvenin üst kısmında 10^{10} dyn/cm veya daha aşağı bir değere düşmektedir.

Bu hesap aynı zamanda model A için P ve g ile irae edilen tazyik ve tacile ait değerleri de verdi. 410 , 1000 , 2900 , 4980 ve 6370 km . derinliklerdeki tazyik değerleri sıra ile 0.14 , 0.39 , 1.37 , 3.27 ve $3.64 \times 10^{12} \text{ dyn/cm}^2$ dirler; g'nin 2500 km . derinliğe kadar 990 cm/san^2 değerinin sadece yüzde biri kadar bir deşik-

me gösterdiği halde, 2900 km. derinlikte takriben 1040 cm/san^2 gibi azamî bir değere yükselmekte ve müteakiben de devamlı bir şekilde düşerek nihayet merkezde sıfıra münceer olmaktadır.

5. Tazyik ve Kompresibilite (Sıkıştırılma Kabiliyeti)

rvemsabitelerindeğerleri,arızın örtü kısmı ile merkezi nüve kısmı arasındaki hudutta oldukça büyük tahavvüller gösterdikleri halde, model A'nın k ile irae edilen enkompresibilite değerleri 6.2×10^{12} ve $6.5 \times 10^{12} \text{ dyn/cm}^2$ kıymetleri arasında nispeten cüzî bir şekilde değişmektedirler. Bundan başka, bu yüzde beş nispetindeki fark, model A'nın esasını teşkil eden faraziyeler ve hesapların gayrı muayyeniyet hudutları dahilindedir. Ayrıca da, model A'ya ait değerler (takriben 3 birimlik bir büyüklükte olan), dk/dp 'nin hududun her iki tarafındaki değerinde mühim bir fark göstermemektedirler.

Bu neticeler, arz dahilinde, meselâ 1000 km. derinlikte bulunmaları muhtemel olan maddelerin (materyellerin), temsilî Z atom sayısı menzili için enkompresibilitesinin tazyik ile arz içinde merkeze kadar muntazam bir şekilde değişen bir fonksiyona tâbi olduğu fikrini vermektedirler. Bundan maada böyle bir düşünce, halihazırda mevcut olan ve yüksek tazyik tecrübelerinden elde edilmiş bulunan donelerle de desteklenmektedir. Bu fikri esas ipotez olarak kabul etmek sureti ile 1950 yılında model B denilen ikinci bir arz modeli yaptım.

Bu model B'nin inşasında, arzın kitlesi ve atalet momenti tarafından empoze edilen tahdidat tabii nazarı itibara alınmıştır. Muadele (5) sadece D' ve E mıntakaları için kullanıldı. BIRCH'in eseri bu muadelenin bu mıntakalar için muhtemelen oldukça şayanı itimat olduğunu göstermiştir. Sismolojiden elde edilen k/r değerleri, model B'nin inşasına

esas olan kompresibilite - tazyik ipotezi ile birlikte kullanıldı. Bu usulün, aşağı yukarı itiraza mahal vermeyecek şekilde, modeli tâyin ettiği tesbit edildi. Kesafet değerleri, merkezden muhite doğru gidilmek sureti ile hesaplandı. Neticede, artan r mesafesi ile D' mıntakasındaki kesafet, azalma nispetinin takriben 100 km. lik bir derinliğe kadar D' mıntakasının üstündeki bölgelerde (model A için elde edilmiş neticeler hilâfına), mühim bir artış göstermediği tesbit edildi. (Bu son derinlik, muhtelif gayrı muayyeniyetler muvacehesinde, 200 kilometreye kadar artırılabilir, fakat daha fazla artırılmasına imkân yoktur.) Binaenaleyh, model B, G ve B mıntakalarının ekseri kısımlarında daha büyük kesafete malik olmak bakımından model A'dan farklıdır. Bu farkın ekserisi, model A'nın örtü kısmı ile merkezî nüvesi arasındaki hudutta k değerinde görülen cüzî inkıtân bertaraf edilmesinden mütevellittir. Bu inkıtâ her ne kadar küçük ise de, onun bertaraf edilmesi, B ve C mıntakalarındaki kitlenin mühim miktarda artmasına sebep olmaktadır.

Diğer ekseri hususlarda model B, model A'ya oldukça yakın bir müşabehet arz etmektedir. Bu müşabehet tabii olarak karşılanmalıdır; zira model B, umumiyetle model A'dan mülhemdir. Mamafih, model B ayrıca şayanı dikkat bir takım istidlallere yol açmıştır.

Evvelâ kompresibilite - tazyik ipotezi, örtü mıntakasının kaidesindeki D" mıntakasında müşahede edilen sıfıra yakın değerdeki, sürat gradiyentlerinin bir tefsirini vermektedir. D" mıntakası içinde k değerinin muntazaman tahavvül etmesini temin için, bu D" mıntakasındaki sismik sürat gradiyentlerindeki azalmayı artan derinlikle kesafet gradiyentinde husule gelen bir artmaya atfetmek lâzımdır. Yapılan hesap, D" mıntakasındaki kesafet gradiyentinin D' mıntakasındaki üç misli olduğunu göstermiştir ki,

bu netice örtü kısmının kaidesinde daha kesif bir materyelin teraküm ettiğine delâlet eder.

Müşabih bir tarzda G, iç nüvesindeki P sürat gradiyentinin azalması, G-deki kesafet gradiyentinin E dış nüvesindeki nazaran daha dik olduğuna delâlet eder. Binaenaleyh, iç nüvede kimyevi homojeniten bazı mühim inhiraflar olabilir.

Eğer negatif P sürat gradiyentine malik F mıntakasının mevcudiyeti doğru ise, kompresibilite - tazyik ipotezi F mıntakasının pek dik kesafet gradiyentine malik olan bir mıntaka olmasını icap ettirir; esasen JEFFREYS tarafından tesbit edilen sürat tevziatı kullanılmak sureti ile F dahilindeki mecmu kesafet artması 3 g/cm^3 olarak bulunmuştur.

Bu ipotez iç nüve kesafetinin tahmin edilmesini de intaç etmiştir. JEFFREYS'in P sürat tevziatının işar ettiği arz merkezindeki kesafet 18 g/cm^3 değerine yakındır. Eğer negatif P sürat gradiyentine malik F mıntakası mevcut olmazsa, merkezdeki kesafet 14 g/cm^3 gibi küçük bir değere düşebilir.

Fakat bu ipotezin belki en enteresan tarafı, arz iç nüvesinin tarif edilen mânada sulp olduğunu ima etmesidir. (1) den:

$$k + 4 \mu/3 = \rho \alpha^2 \quad (8)$$

F ve G mıntakaları arasında α^2 , JEFFREYS'in donelerine göre yüzde 39 ve (gerçekte) GUTENBERG'in donelerine göre yüzde 21 nispetinde artmaktadır. α^2 'nin artmasına mütedair bu değerlerden sonuncusu, gölge zonundaki 142° den daha kısa mesafelerde müşahede edilmiş olan P dalgalarının izahı için lüzumlu görülen muhtemel asgari değere yakındır. İstikrar sebeplerine binaen, G iç nüvesinin ρ kesafeti E dış nüvesinden daha küçük olmayacaktır. Binnetice, (8)e göre, ya k veya μ , E ve G mıntakaları arasında birdenbire artmak zorundadır. Şayet artış sadece k'da olsa,

artma miktarının yüzde 21 olması icap eder ki, bu da kompresibilite - tazyik ipotezi ile tenakuz halindedir. Binaenaleyh, bu hipotez, m rijiditesinin $\frac{3}{2}$ k değerinin asgarî yüzde 21'ne müsavi olması ile iç nüvenin sulp olduğuna delâlet eder. m'nun bu değeri en az $2 \times 10^{12} \text{ dyn/cm}^2$ ve JEFFREYS'in, donelerine göre takriben $4 \times 10^{12} \text{ dyn/cm}^2$ dir; ve binnetice bu değer D' örtüsündeki rijidite değeri büyüklüğündedir.

Kompresibilite - tazyik ipotezinin enteresan teyidi, nazari fizikteki çalışmalardan gelmektedir ki, bu teyit biraz evvel beyan edilmiş olan muhtelif istidlallere biraz kuvvet vermektedir. FEYNMANN ve diğerleri Thomas - Fermi - Dirac maddesinin evsafını 10^7 atmosferin (yani 10^{13} dyn/cm^2) üstündeki tazyikler altında etüd ettiler ve BRIDGMAN ve diğerlerinin 10^5 atmosfere kadar yükselen tazyik altında yapmış olduğu çalışmalardan doneler elde edilmiştir. ELSASSER iki netice grubu arasında bir enterpolâsyon yapmıştır ve ben 10^6 atmosferlik mutavassıt tazyiklerde bazı jeofizik donelere uydurmak için 1952 yılında bu enterpolasyonu adapte ettim. Bu çalışma arzın dış ve iç nüvelerinde mevcut olması düşünülen maddeler için k enkompresibilitesindeki herhangi bir atlamının pek muhtemel olarak yüzde beşten az olduğunu ve sıfır olabileceğini göstermiştir. Ve bu yüzde beş nispetindeki atlama, iç nüvenin mayi olmasını icap ettiren miktardan çok azdır. Muhtelif yazarlar, meselâ JACOBS ve SIMON yukarıda işar edilmiş olan bir rijiditeye malik bir iç nüvenin mevcudiyeti için mantıki gözükten fiziki sebepler bulunmuşlardır. CHANDRASEKHAR İç sulp nüve gibi kesin bir sınırın (arz manyetik alanına ait teorilerinde ELSASSER ve BULLARD tarafından tasavvur edilen), konveksiyon cereyan şeklinin mayi dış nüvede vukua gelmesini kolaylaştırdığını tesbit etmiştir.

Daha dakik bir neticeye varmak için, sismik kayıtlardan (seismic records) iç nüvedeki S dalgalarını keşfetmek imkânını inceledim, Fakat hesaplar, esas ilgili fazın halihazırdaki sismolojik tefrik kudreti ile olsa olsa müşahede imkânı sınırı üzerinde bulunduğunu göstermektedirler. Takriben 130° ve 140° arasındaki mesafelerde amplitüdüleri en az 8 olan zelzeleleri müşahede etmek sureti ile iç nüvede S sürati değerini tesbit etmek için birkaç sene zarfında kâfi miktarda delil toplanabilir.

Halihazırda mevcut bütün delillere nazaran öyle görünüyor ki, arz içinde

1000 km derinliğe kadar dk/dp 'nin bilâ inkita devam ettiği iyice tesbit edilmiş olup k 'nın inkıtasız devam ettiği hususunda yapılan ilk tahmin oldukça iyidir. Fizik ilminden neş'et eden deliller, muhtelif seviyelerde k değerinde küçük ani değişmelerin mevcut olabileceğini ve fakat bunlardan hiç birinin nüve dahilinde yüzde 21'e yaklaşmıyacağını işaret etmektedirler. Binaenaleyh model B, model A gibi, birçok kemmi donelere uygun fakat, ileride sismolojik ve fizikî tafsilâtın göstereceği gibi, aşırı derecede büyük olmayan bir tadilâta tâbi bulunan faydeli bir çalışma modeli olarak yararlı olmaktadır.

BİBLİOGRAFYA

- BIRCH, F. : (1952) Elasticity and constitution of the Earth's interior. *J. Geophys. Res* 57, 227 - 286
- BULLEN, K. E. : (1949) Compressibility - pressure hypothesis and the Earth's interior. *Mon. Not. Roy. Astr. Soc., Geophys. Suppl.* 5, 355 - 368.
- BULLEN, K. E. : (1950) An Earth model based on a compressibility - pressure hypothesis. *Mon. Not. Roy. Astr. Soc., Geophys. Suppl.* 6, 50 - 59.
- BULLEN, K. E. : (1950 and 1951) Theoretical travel - times and amplitudes of the seismic phase PKJKP. *Mon. Not. Roy. Astr. Soc., Geophys. Suppl.* 6, 125 - 128 and 163 - 167.
- BULLEN, K. E. : (1952) On density and compressibility at pressures up to thirty million atmospheres. *Mon. Not. Roy. Astr. Soc., Geophys. Suppl.* 6, 383 - 401.
- BULLEN, K. E. : (1953) Introduction to the Theory of Seismology. 2nd ed., Cambridge University Press.
- BULLEN, K. E. : (1954) Seismology. Methuen.
- BULLEN, K. E. : (1955) Some trends in modern seismology. *Science Progress*, 170, 211 - 226.
- GUTENBERG, B. : (1951) PKKP, P'P' and the Earth's core. *Trans. Amer. Geophys. Un.* 32, 373 - 390.
- GUTENBERG, B. and RICHTER, C. F. : (1934 - 39) On seismic waves. *Gerlands Beitr. Geophys.* 43, 56 - 133; 45, 280 - 360; 47, 73 - 131; 54, 94 - 136.
- GUTENBERG, B. and RICHTER, C. F. : (1938) P' and the Earth's core. *Mon. Not. Roy. Astr. Soc., Geophys. Suppl.* 4, 363 - 372.
- JACOBS, J. A. : (1954) Temperature distribution within the Earth's core. *Nature* 173, 258.
- JEFFREYS, H. : (1939) The times of P, S and SKS and the velocities of P and S. *Mon. Not. Roy. Astr. Soc., Geophys. Suppl.* 4, 498 - 533.
- JEFFREYS, H. : (1952) The Earth. 3rd ed., Cambridge University Press.
- JEFFREYS, H. and BULLEN, K. E. : (1935) Times of transmission of earthquake waves. *Bur. Centr. Séism. Internat. A* 11, 1 - 202.
- JEFFREYS, H. and BULLEN, K. E. : (1940) Seismological Tables. *Brit. Assoc., Gray - Milne Trust.*
- LEHMANN, I. : (1936) P'. *Bur. Centr. Séism. Internat. A* 14, 3 - 31.
- LEHMANN, I. : (1955) The times of P and S in Northeastern America. *Ann. Geofis. Rome* 8, 353 - 370.
- TAKEUCHI, H. : (1950) On the Earth tide in the compressible Earth of varying density and elasticity. *Trans. Amer. Geophys. Un.* 31, 651 - 689.