

# SHANTY FALLS RESİFİNİN (WABASH, INDIANA, A.B.D.) MİKROFASİES İNCELEMESİ

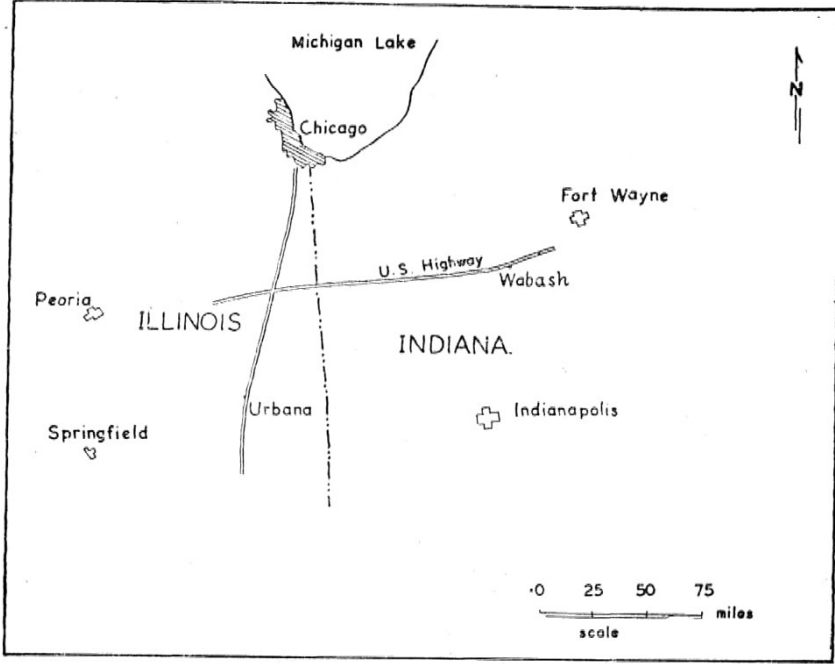
İ. Enver ALTINLI

*Fen Fakültesi, Tatbikî Jeoloji Enstitüsü, İstanbul*

ÖZET.— Shanty Falls resifinin mikrofases ve istatistik usulleriyle incelenmesi, üç mikrofasesin mevcut olduğunu ve bunların resif çekirdeğine ait iki canlı yapımı kireçtaşı uzantısından resif ilerisi canlı kalkarenit diline ve resif arası havza dolosiltitine doğru bir sıralanma sunduklarını açığa çıkarmıştır. Böylelikle bitevil görünüşlü kireçtaşlarının doku tiplerine ayrılması ve ayrılanarak sınıflanması mümkün olmuştur. Mikroskop muayenesi ile edinilen veriler sayesinde sekiz saha kesidinin korelasyonu yapılmış, mikrofases parametrelerinin evrimi tesbit edilmiş ve batimetri yorumlanmıştır. İnce kesitlerdeki organik olan ve olmıyan parametrelerin istatistik ölçüm ve sayımı, Wabash nehrinin tabii kesidinin, devamlı yarın güneyinde kalan resif çekirdeğine teğetsel geçtiğini, çekirdeğin henüz aşınma ile açığa çıkmadığını, mostranın çoğunun resif kanadı tabakalarına ait bulunduğunu meydana koymuştur. Çekirdeğin iki uzantısıyla kanat tabakalarındaki Crinoid'lerin istatistik yönünden ele alınması, resif ilerisi tabakalarının tümü ile çekirdeğin tahribinden türemiş olmadığını, yerinde birikmiş organizma kalıntılarına merkezdeki çekirdekten ışınsıyan döküntü konilerinden akıp gelme malzemenin karışmış bulunduğunu öğretmiştir. Böylece bu tarz inceleme, vaktiyle saha müşahedesıyla erişilmiş sonuçlarda düzeltmelere ve inceliklere yol vermiştir.

## TEŞEKKÜR

Yazar, Illinois Üniversitesi Jeoloji Bölümü Başkanı Prof. Dr. G. W. WHITE'a, kendisini 1962 yazında ziyaretçi profesör olarak kabul ettiği için teşekkürlerini sunar. Prof. Dr. A. V. CAROZZI'ye, yazarın resif incelemesine gösterdiği ilgi ve Shanty Falls resifinin (Şek. 1) istatistik petrografi tahlili yoluyla incelemesine verdiği müsaade için müteşekkirdir. Dr. W.W. HAY lâboratuvarında mikrofotoları yapmak, J. E. LAMAR, Illinois Jeoloji İdaresinde X-ışını uygulamasına müsaade etmek, D. TEXTORIS oto ile iki sefer araziye götürmek ve getirmek, E. R. PAULUS çiftliğinde çalışmaya imkân vermekte yardımcı bulunmuşlardır.



Şek. 1. Etüd bölgesi mevki haritası  
GİRİŞ

Bu makale, kireçtaşları için A. V. CAROZZI'nin (1, 2) geliştirmiş olduğu tarzda yönlü ince kesitlerin ayrıntılı petrografi incelemesine dayanan mikrofasiyes usulü ile bir resif yapısının yeniden incelenmesine aittir. Bu istatistik yol, bitevil olsa da, bir diziyi doku, organik olan ve olmıyan bileşenlere göre bölmiye ve özel mikrofasiyesini çökeltme ortamını da bulmaya imkân verir, Daha taze örnek alınabilmesi için dik yarıdaki çentikler güdülmüş, bir veya iki tarafından yönlü örnekler derlenmiştir (Şek. 2 ve Şek. 6). E ve F kesitlerinin düşey çeperlerinden, bir ip merdivenden faydalanılarak örnek toplanmıştır. Birer ayak ara ile sekiz kesitten alınan örneklerin ve dolayısıyla ince kesitlerin toplamı 273 tür. Kesitlerin arazideki durumu (Şek. 5) üzerinde güzel görülür. Bütünleşmiş kesit 191 ayaktır, C ile D arasında 2 ayak, F ile G arasında 8 ayak ve G ile H arasında 15 ayaklık ara mesafeler hesaba katılırsa, dizinin toplam kalınlığı 216 ayaktır.

Sahada çelik metre, cetvel, Brunton pusulası kullanılmıştır. Kaya tiplerinin ayrıntılı tasviri, ardışması, yapı v.s. yerinde kaydolunmuştur. Yazarın hazırlamış olduğu yönlü ince kesitler lamelle örtülmeden önce, dolomi,

kuars ve feldspat varlığını öğrenmek gayesiyle X- ışınından geçirilmiştir. 1° yarıklı bir bakır X- ışını tüpü kullanılmıştır, 26°-33° arasında 7° İlk bir açı (2θ) için goniometre dakikada 2° hıza ayarlanmıştır. Yansımalar otomatik olarak « General Electric Speedomax» ta kaydolunmuştur. X-ışını verilerinden sadece kalitatif olarak dolomit, kuars ve feldspatın varlığını öğrenmek yolunda faydalanılmıştır. Organik ve inorganik bileşenlerin mikroskopla istatistik tahlilinde her seferinde birisi ele alınmıştır. Mikroskop parametreleri ve doku yardımıyla üç mikrofasies ayırtlanmıştır.

### TARİHSEL BİLGİ

V.E. ZADNIK'in (17) «Kuzey A.B.D. Niagarien Resiflerinin Tarihi» bahsi burada tekrarlanmayacaktır. Kuzey İndianadaki dom şekilli kabartıların antiklinal yapılar olmadıklarını ilk olarak ispatlamış bulunan E.R. CUMINGS & R. R. SHROCK'un (5, s. 151) eserinde Shanty Falls resifi bahsi şöyledir:

«Wabash kasabasının 1 mil batısındaki Wabash nehrinin güney yarısında ve Shanty Falls deresinde kocaman bir başka resif açıkta gözüktür. Bu resif ihtimal, eyalet sınırları içinde en çok dikkati çekici olanıdır. Koyu boz renkli resif Shanty Falls deresinin hemen doğu ağzından batıya eğimli olarak yükselir, dereceli yükselti kazanarak yar boyunca yarım mil kadar uzanır, bir zaman sonra eğim doğuya değişir. Resife ait dik yar en çok nehir yatağından 80 ayak yüksektedir, eteğinde bol döküntü göğüslüğü bulunur. Yüksek tabaka istifinde büyük mağaramsı oyuklar vardır. Tabii kesit resif çekirdeğini kesmiş ve bu merkeze ait tabakalanmamış, dev tümseğin olağanüstü yekpareliğini harika şekilde açığa çıkarmıştır. Tabii güzelliğe malik Shanty Falls vadisi yarılarında yatay bulunan Liston Greek kireçtaşı, Red Bridge üyesi ve alttaki Mississinewa şeyli güzel mostralara vermiştir. Bu resifin kökü şüphe yok Mississinewa'dadır ve Liston Greek'te çok yukarılara kadar yükselir.»

### COĞRAFYASAL MEVKİ VE SHANTY FALLS RESİFİNİN MEGASKOPİK TASVİRİ

Shanty Falls resifi NW İndiana'da, Wabash ilinde, Illinois deki Urbana'dan oto ile 235 mil uzaktadır. NE 1/4 sec. 16, T. 27N., R6E. da bulunur. Wabash nehri NNE-SSW yönünde, çekirdeğe teğetsel olarak biçilmiştir.

Blok diyagramda (Şek. 6) kubbe şekilli yapının bir seviyesi gösterilmiştir. Aşınma ile henüz açığa çıkmamış çekirdek tabii kesit çizgisinin güneyinde bulunur. Dik yarda çekirdeğin sadece iki uzantısı vardır. İlk numune kesidi çizgisi A ile, son numune kesidi çizgisi H arasında uzaklık 1498 ayaktır ve dik yar, plato ile eteğinin döküntü arasında ortalama 40 ayaktır. Wabash nehrinin alçak taraçası 660 ayak, plato 740 ayaktadır, til ile kaplıdır ve bir til ovası görünüşü vardır. Tabakalı kanat tabakaları merkezden başlayarak dik ve ışınsal eğimlidir. İlksel eğimler, sıkılaşmaz çekirdek ile sıkılaşır resif arası tabakalarının farklı sıkılaşması ile sonradan artmıştı Kırıklar ihtimal «serbestleme tipi» ndedir, çünkü alan, jeoloji tarihinde resiften daha genç yaşlı bulunan üzerindeki stratigrafi sistemlerini aşınma ile kaybetmiştir.

#### MİKROSKOPLA ARAŞTIRMA USULLERİ VE TEKNİKLERİ

Yönlü ince kesitlerdeki organik olan ve olmıyan bileşenler altı mikroskop alanında müşahede olunmuşlardır. Her bir mikroskop alanı 10.28 mm<sup>2</sup> dir. Aynı alanların korunması için mikroskoptaki haçın merkezi çini mürekkebi ile kesit üzerinde noktalanmıştır. Yukardan aşağıya olmak üzere sağ sıra 1, 2, 3 ve sol sıra 4, 5, 6 sayılmıştır. Küçük kesitlerde ancak üç mikroskop alanında tanım ve sayım yapılmış, fakat oranın korunması için miktarlar iki ile çarpılmıştır. İstatistik yönünden ele alınacak kadar çokça olan bileşenler ölçülmüştür. İri fosiller seyrek bulduklarından, varlıkları graflarla birer rumuzla gösterilmiştir. Yönlü ince kesitler mikrofaseslere göre sınıflanmış ve gruplanmıştır. Organik olan ve olmıyan parametre değerleri litoloji sütununun sağına çizilmiştir. Bu değişim eğrileri ile bunların genelleştirilmiş yorumlamasını temsil eden «genel gidiş eğrileri» ve korelasyonlar tek bir şekil üzerinde gösterilmiştir (Levha III). Bu işlemler sayesinde çökeltme şartları ve değişimleri istidlal olunmuştur. Çökeltme ortamının mekanik şartları ve derinlik, çökeltmedeki değişiklikleri yansıtan mikroskop parametrelerinin delâlet ettiği üzere, zamanla değişmiştir. Mekânda olan değişmeyi de, stratigrafi bakımından eşdeğer birimler açığa çıkarmıştır. «Kırıklık indeksi», bir kırıntı veya billurun en büyük çapını gösterir ve ince kesitteki altı alanda görülen en büyük görünür çapın ölçülmesiyle elde edilir. Kırıklık indeksi, ortamda faal kuvvetlerin harekete geçirdiği en iri tanenin çapını gösterir ve böylelikle suyun taşıma ve harekete geçirme yeteneğini öğretir. Bu incelemede kuars ile Crinoid için kırıklık

indeksi ölçülmüştür, Kuars, biricik inorganik parametredir ve resif alanı dışından getirilmiştir. Crinoid parçaları kırıntı gibi hareket ettiğinden, bunların bolluk ve kırıklıkları ölçülmüştür. Bolluk (frekans), ince kesidin altı alanındaki parçacıkların sayısıdır. Bu incelemede kuars, Crinoid, kireçli alg, Bryozoa, Ostracod ve sünger spiküllerinin frekansı tayin olmuştur. Frekans dalgalarla akıntuların kudreti (enerjisi) ile ilgilidir.

### MİKROFASİESLERİN TASVİRİ

İnce kesitlerin, mevkileri dikkate alınmaksızın, petrografi mikroskopunda muayenesi ile üç mikrofasesin varlığı öğrenilmiştir. Her birinin özel dokusu organik olan ve olmıyan bileşenleri vardır. «Görünü» tortul şartları anlatır. Her ne kadar mikrofases değişimleri esasından dereceli geçişli ise de, litolojilerin mikrofasesiyle mostra arasında oldukça bir tutarlık vardır. Dolomileşme sonradan olduğundan ve bu olay ilk örneği silmediğinden, «asbölüm» ler yaptırmamıştır. Bu ayrışma diyajenez ile ilgilidir, ayrı bir tip vücuda getirmemiştir ve özel bir çeşide sebep olmuştur. Bahis konusu resif dik yarı boyunca kılavuz tabaka yoktur.

*Mikrofases 1* (Levha III: A, B).— Canlı yapımlı kireçtaşı beyaz çizgi hafifçe sarımtırak, sıkı, ince taneli, kırıntılı hamurlu, dolomileşmiş veya dolomileşmemiştir. Açık boz çizgi sarımtırak, yer yer hafifçe berrak bilürlü, gözenekli veya gözeneksiz, bazı yerde jeodlu, bitevil tabakalı, seyrek Stromatactis'li, beyaz, sonradan olma kalsit damarlıdır. Bu mikrofases resif çekirdeği uzantılarına aittir.

*Mikrofases 2* (Levha III: C, D, E ,F).— Canlı kalkerenit, ince unsurlu kırıntılı hamur, dolomileşmiş veya dolomileşmemiştir. Beyaz kaba dokulu veya orta taneli veya berrak kalsitlidir; düzensiz kırık ve yer yer stilolit vardır; en çok yüzeye yakın olmak üzere az veya çok gözeneklidir, seyrek beyaz yolludur. Bu mikrofases, resif ilerisi tabakalarına aittir.

*Mikrofases 3* (Levha III: G, H).— Dolomi miltaşı (dolosiltit), bitevil boz veya boz çizgi eflâton sarı tonludur, fakat açıkta sararır. Çok iri taneli, berrak kalsitli, seyrek olarak sıkı, düzensiz köşeli kırıklı yer yer veya bazı seviyelerde iri gözenekli, beyaz kalsit yolludur. Bu mikrofases, resif ötesi (resif arası) tabakalarına aittir.

Başlangıçta kalsit mikasından yapılma hamur dolomite dönmüştür. İlk bir yalancı oolitle yapıya delâlet edecek benekli bir görünüşü yoktur. Orga-

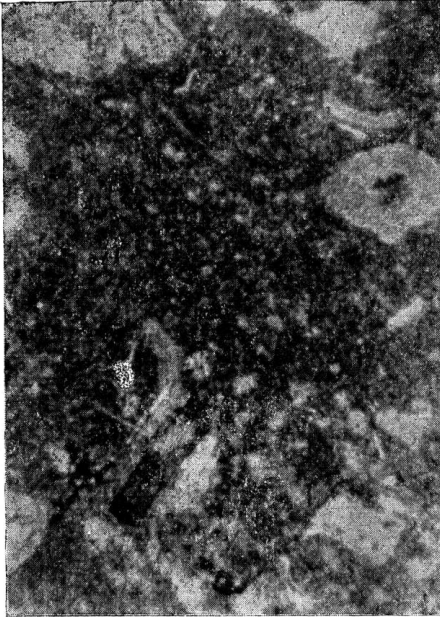
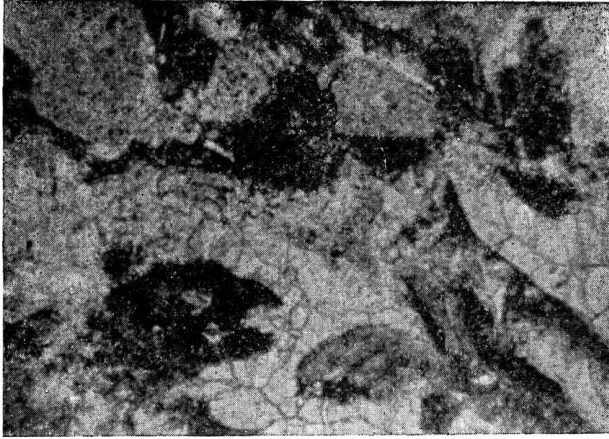
nik kalıntı boğatalanması ile bazı ara maddeler gözenekliliğe sebep olmuşlardır. Ufanmış organik kalıntılardan başka, seyrek Crinoid sapı halkaları vardır. Dolomileşme sonradandır ve bazı bazı pek ilerlemiş halde ise de, asıl tortul tipi büsbütün silmemiştir. Stratigrafi kesidi boyunca, yaygın halde de olsa, kuars, feldspat, mika v.s. gibi pek az karadan türemiş malzeme vardır. Su derinliği salınmaları fazlaca olmadığından, çökeltmede devirli örnek gelişmemiştir. Resif yapısının türlü bölgelerindeki çökeltme örneği zamanda ve mekânda aynı kalmamıştır. Mikrofasieslerin düşey ardışması ve yatay sıralanması arazide ve dairede yapılan korelasyonlar Şekil 5 te gösterilmiştir. Azıcık kuars ile yaygın killi malzeme belki de kıta plâtfonunun sığ kesimlerinden türemişlerdir; dalga ve akıntılarla resif yapısının farklı kesimlerine dağıtılmışlardır. Bir tek kesitteki tek bir sileksit dışında sileksit bulunmayışı çekirdeğin yakınlığına işaretir.

---

#### LEVHA I-FOTOMİKROGRAFLAR

- A. *Mikrofasies 1*: A20-2 canlı yapımı kireçtaşı (dolomileşmiştir). X30, paralel nikol.  
Boz, mikrobillürsel, eşitli hamur kıt, (0.17/0.12 mm) ufak, dağınık dolomik billürları vardır. Kuarsın boyu 0.06 mm, frekansı 1, ortalaması 0.16 dir. Crinoid, Bryozoa, Ostracod, Stromatactis.
- B. *Mikrofasies 1*: B20-5 aynı (dolomileşmemiştir), X30, paralel nikol.  
Parça Crinoid, Bryozoa, kireçli alg, Stromatoporoides. Stilolitleri killi maddeler belirtmiştir. Kuarsın boyu 0.16 mm, frekansı 14, kesitte ortalaması 2,33 tür.
- C. *Mikrofasies 2*: F33-2 canlı kalkarenit (dolomileşmemiştir). X30, paralel nikol.  
Hamur ince taneli kıttır. Çimento ile eşit kristalografi yönelimli sonradan olma kalsit büyümesi ile dokanaklı istifli Crinoid vardır. Crinoid, Bryozoa, Ostracod tabakalanmaya paralel değildirler. Kuarsın boyu 0.1 mm, frekansı 26, kesitte ortalaması 4.33 tür. Yer yer dolomit billürları vardır.
- D. *Mikrofasies 2*: A8-5 aynı (aynı). X30, aynı.  
Parçalanmış ve yenmiş Crinoid, Ostracod, Bryozoa ince taneli, boz bir hamurdadır. Kuarsın boyu 0,05 mm, frekansı 4.66, kesitte ortalaması 0,66 dir. Organik olan ve olmiyan bileşenler tabakalanmaya oldukça paraleldir. Otijen mineral yoktur. İstifte Foraminifer mevcut değildir.

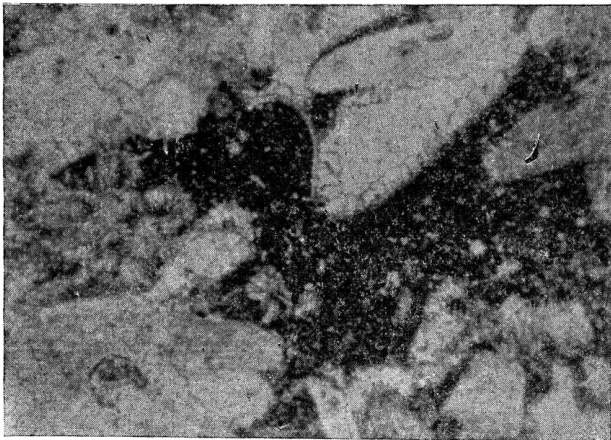
A



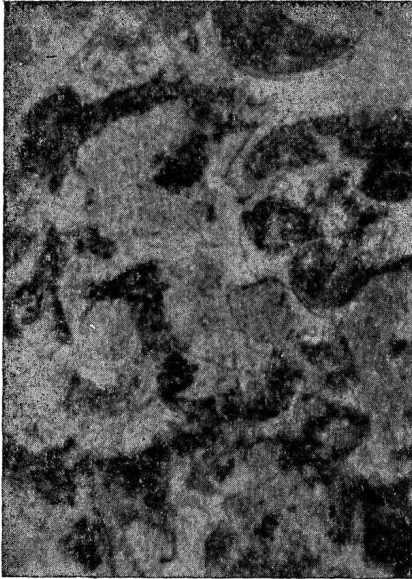
B



C



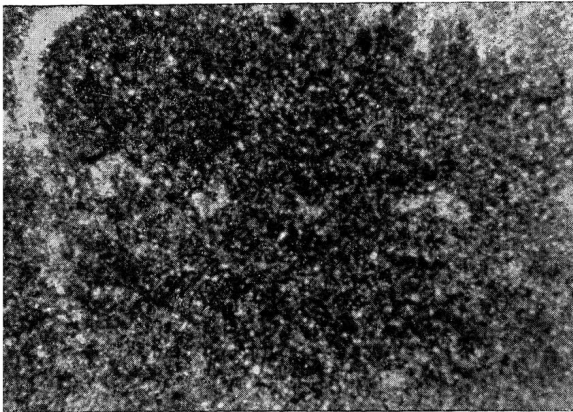
D



*E*



*F*



*G*



*I*



## MİKROFASİES PARAMETRELERİNİN GENEL EVRİMİ

Mikrofasieslerin parametre değerleri Tablo 1 de gösterilmiştir. «Kuarsın kırıklık indeksi âzamileri ile değişim mertebesi» «Crinoid'in kırıklık indeksi âzamileri ile değişim mertebesi» eldeki parametre değerlerine göre yarı logaritmik veya aritmetik ölçekle grafa geçirilmişlerdir (Levha III). Farklı ölçekler kullanıldığından, graflar, denestirmeye elverişli değildirler. Mikrofasieslerin kırıklık ve bolluğu değişik bulunduğundan, mikrofasies arasında bir ilgi vardır; ayrıca eğrilerin değişimleri korelasyona yardımcıdır (Şek. 3, 4).

**Kuars taneleri:** Tüm ufak olan kuars tanelerinin çapı 0,02-0,05 mm civarındadır. Mikrofasies, A ve B kesiti (kalkarenit) istisna edilirse, mikrofasies 3 ten mikrofasies 1 e doğru küçülme istidadı gösterir. Kuars taneleri kabaca eşit boyutlu, çoğu yarı yuvarlak, aralı, eşitsiz dağılımlıdır. Kuars

## LEVHA II - FOTOMİKROGRAFLAR

*E. Mikrofasies 2:* G20-5 aynı (dolomileşmiştir). X30, aynı.

Ufak billürsel, diyajenezle oluşmuş dolomileşme; kalsit hamuru ile organizmaları ornatmıştır. Organizmalar, daha iri unsurlu mozaikleri sayesinde tanınır. Yaygın kil maddeleri dolayısıyla hamur sarımtıraktır. Kuarsın boyu 0.75/0.34 mm, frekansı 25, ortalaması 4,80 dir. Crinoid, kireçli alg, Ostracod vardır.

*F. Mikrofasies 2:* B9-6 aynı (aynı). X30, aynı.

Ufak dolomit eşkenar dörtgenlerinden yapılma zeminde Crinoid'ler daha iri billür mozaikleri ile tanınır. Billürlanmış organizma etrafında killi, kahverengi yabancı maddeler vardır.

*G. Mikrofasies 3:* E27-3 dolosiltit. X30, aynı.

Hamur ince tanelidir, bol diyajenetik dolomit millidir ve yaygın killi maddelerle boyanmıştır. Kuarsın boyu 0.05/0.04 mm, frekansı 100, kesitte ortalaması 16,66 dir. Crinoid, Ostracod, kireçli alg.

*H. Mikrofasies 3:* DI5-3 aynı, X30, aynı.

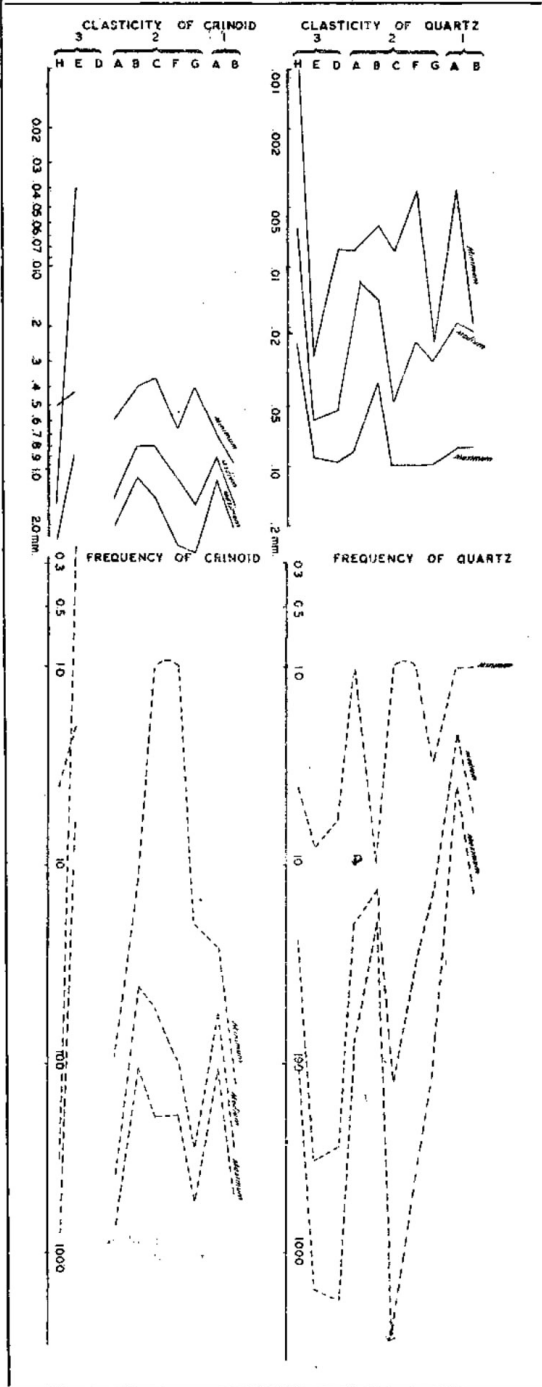
Daha iri billürlü dolomileşme yüzünden dokularını kaybetmiş ince yapılı kireçli alg, Ostracod dağımıdır. Mikroskopik dolomit eşkenar dörtgenler de vardır. Siyah noktalar, belki de organik maddedir. Kuarsın boyu 0.04/0.04 mm dir, frekansı 337, kesitte ortalaması 56.3 tür.

**MIKROFASİES**

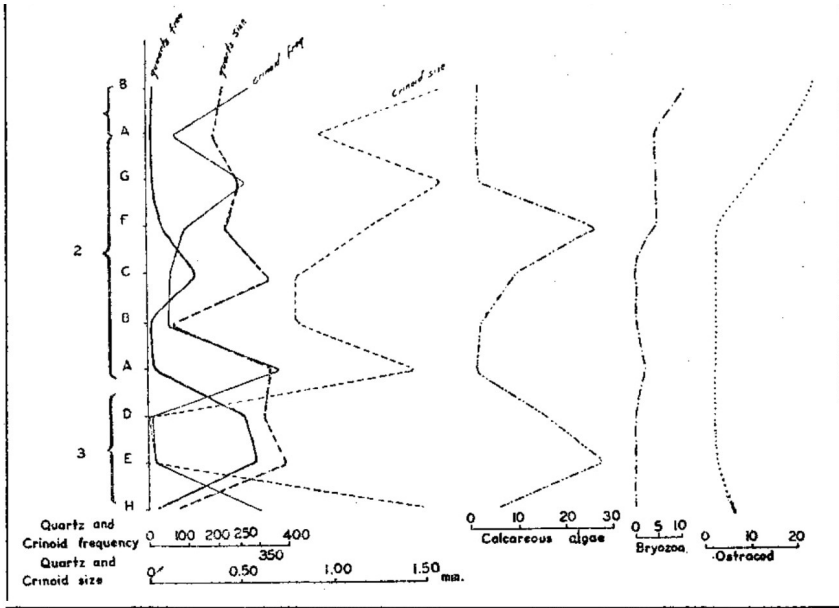
1  
2  
3

	Ortalama kuars frekansı	Kuars frekansının değişim mertebesi	Kuarsın ortalama kırıklık indeksi, mm olarak	Kuars kırıklık indeksinin değişim mertebesi, mm olarak	Crinoid'in ortalama frekansı	Crinoid frekansının değişim mertebesi	Crinoid'in ortalama kırıklık indeksi, mm olarak	Crinoid kırıklık indeksinin değişim mertebesi, mm olarak	Kireçli alglerin ortalama frekansı	Bryozoa'nın ortalama frekansı	Ostracod'ların ortalama frekansı	
1	Kesit B	5.4	1-14	0.021	0.019-0.079	269.70	124-472	1.59	0.96-2.04	0.7	10.20	22
	Kesit A	2.18	1-4	0.0189	0.004-0.080	55.72	26-106	0.92	0.69-1.18	0.27	3.90	17.63
2	Kesit G	13.20	3-94	0.0296	0.026-0.097	264.30	20-494	1.58	0.40-2.74	1.27	4.12	10.31
	Kesit F	28.11	1-251	0.0234	0.004-0.097	99.17	1-180	1.18	0.64-2.50	26.07	3.47	2.47
	Kesit C	128.20	1-2034	0.0482	0.008-0.097	50.92	1-184	0.80	0.36-1.42	9	—	3.38
	Kesit B	13.4	10-19	0.0142	0.006-0.038	41.50	11-107	0.80	0.40-1.15	1.6	—	2.8
3	Kesit A	19.37	1-76	0.0157	0.008-0.084	361.55	91-658	1.43	0.59-2	—	2	2.88
	Kesit D	260.69	6-1567	0.052	0.008-0.095	—	—	—	—	15.96	—	2.34
	Kesit E	307.44	8-1363	0.0593	0.028-0.090	0.25	2-6	0.04	0.44-0.99	28.13	—	2.69
	Kesit H	23.60	4-93	0.0063	0.001-0.024	303.307	4-704	1.581	0.5-2.37	5.36	—	6

**Tablo 1 - Mikrofasiyelerin karakteristik parametre değerleri**



Şek. 3 - Mikrofasies kesitlerinde knars ve Crinoid'lerin kırıklık indeksi ve frekansının azamileri ile değişim mertebesi



Şek. 4- Mikrofaseslerin karakteristik parametre eğrileri

bolluğu mikrofases 3 ten mikrofases 1 e doğru belirgin azalır. İlkteki ortalama eğri üzerinde 350 yi geçmez. Kırıklık ve bolluk eğrilerinin paralel oluşu bitevil bütünlenme ve eşitli dağılmaya işaretler. Meselâ, çekirdek ve kanat tabakalarında olduğu gibi, fakat kesişmelere veya (paralel değil de) ters değişimi, havzada olduğu gibi, tersi şartlara, yani bitevil olmıyan bütünlenmeye ve eşitsiz dağılmaya delâlet eder. Kuars boyu ile bolluğu eğrilerinin paralellığı bahis konusu edilen ilk halin varlığına işaretler.

Öteki kırıntı mineraller, meselâ mika, son derece seyrek olduğundan hesaba katılmamışlardır.

**Crinoid:** Crinoid parçaları kırıntı imiş gibi hareket ederler. Kırılmış ve aşındırılmış sap halkaları daha boldur. Bu halkaların, çanak levhalarından ayırdı güçtür. Erimenin sebep olduğu tırtık görülmemiştir. Mikrofases 3 müstesna, boy eğrisi kuarstakinden daha yüksek değerlidir. Bolluk eğrisi de benzer gidişlidir. İki eğrinin paralellığı kuarsta olduğu gibi bitevil bütünlenme ve eşitli dağılımı gösterir. Mikrofases 3 te ters gidişli oluşları değişen bütünlenme ve eşitsiz dağılmayı anlatır.

Grinoid taneleri yeniden billûrlanma ve dolomileşmeye daha daya-

nıklıdır ve kalık yapı «hayaller»i tanınabilir. Crinoid'lerin tabakalanma ile paralelliği bazı vakit azıcık belirlidir ve bu belki de parçaların eşit boyutlu oluşu yüzündendir. Dokanaklı istiflenme sık görünmez, basınç erimesiyle veya çekirdekle eşit optik yönelmeli sonradan büyüme ile kenetlenme görülebilir.

Bileşenlerin her üç ortamda da az çok yaşıt sürüklenmesi dalga tabanı ve dik eğimi ile kontrole olur. Merkezdeki çekirdek alanı en sığ ve şiddetli hareketli ortamdır. Eğik durumdaki kanat kuşağı dalga tabanı üstündeki dalga ve akıntı ile süpürülür; zaman zaman da çekirdekten ışınıyan döküntü konilerinden gelme kum ve kireçle karışık organizmalar kazanır. Resif arası alan dalga tabanı altındadır ve çanak şekilde havzada kireç çamuru birikir.

Kırıntı tane gibi hareket eden Crinoid kalıntıları, resif ilerisi alanda olduğu yerde birikmekle beraber, daha başka organik olan ve olmıyan ürünlerle birlikte merkezdeki çekirdekten türemiş olanları da kazanır. Aynı tarzda kanat uzantılarından öteye ve çevredeki havza kuşağına doğru daha küçük ölçekte bir taşınma da vardır.

Kireçli algler: Kireçli alglerin bolluğu çekirdekten öteye artar; meselâ mikrofases 2 nin F ve G kesitleri ile mikrofases 3 te olduğu gibi, havza alanında eğrinin gidişi Crinoid'ininkinin tersini gösterir; demek ki, kireçli alg arttıkça Crinoid azalmaktadır.

Bryozoa: Bu bentonik grupun tatlı eğrisi çekirdeğe doğru bir artışı gösterir.

Ostracod: Bu pelâjik (?) grupun tuhaf eğrisi çekirdek alanında bir bollanmayı anlatır ve gidişi öteki organizmalarınkinin tersidir.

Spongi spikülleri: Yer yer ve kesiksiz görünen bu bentonik organik kalıntılar, eğri üzerinde yorum yürütecek yeterlikte değildir.

İri fosiller: Asıl çekirdek alanında makrofosiller gözüktür. Ne bollukları ve ne de boyları özgül eğri çizimine imkân vermemiştir. Belki de bollukları hareketli ortamda artmakta ve şiddetli sularda, meselâ Koray, Spongi, Bryozoa ve Stromatactis gibi, dalga ve akıntıya dayanıklı tipler belirmektedir. Stromatactis'e yarı şiddetli resif ilerisi ortamında da elverişli şartlar bulabilmiştir. Sakin resif arası suda Spongi, Stromatactis daha seyrek bulunur.

## KESİTLERİN TASVİRİ (LEVHA III)

Mikroskop parametreleri, resif yapısının gelişmesi sırasındaki çökeltme değişimlerini, daha sıkı sudaki büyüme etkilerini, yörede durulmakta olan çökeltiiler üzerindeki tepkilerini gösterir. Bu makalede değişimlerin illetleri, sıhhatli derinlik sayıları aranmamıştır. «Genel gidiş eğrisi» ortalamayı belirtmesi bakımından faydalıdır. Parametre değişiminin bu genelleştirilmiş çizgisi, çökeltmenin toplam durumu daha kolay kavramak imkânını verir. Mirofasieslerin genel düşey ardışması ve yanal sıralanışı Şekil 5 te kabaca gösterilmiştir.

**Kesit A**

Örnek kesidinin alt kesidinde kireçtaşı daha kalın ve daha eşitli tabakalıdır, 1/2-3 inç aralı kesiklikler (belki de serbesleme kırıkları) kireçtaşına yumrulu bir görünüş vermiştir; fakat ergeç tabakalanma düzlemi yeniden belirli olur ve tabaka meydana çıkar. Yersel lâminallanma hava ile temasta çürüme ile belirir. Bir takım ufarak erime boşlukları vardır. Eklemler kıt değildir. Kuzeydeki A kesidi alttaki kalkarenit (mikrofasies 2) ile üstteki canlı yapıyı kireçtaşı (mikrofasies 1) arasında kesitlik sunmaz, A ve B kesitleri, ihtimal resif çekirdeğine en yakın bulduklarından, üst kesimlerinde çekirdeğin iki uzantısını sunarlar. Bunların özel litolojisi, organik olan ve olmiyan bileşenleri vardır. Kuars ile Crinoid mikrofasies 2 de en boldur. Mikrofasies 2 nin mikrofasies 1 deki arakatkı durumu ile de bu bolluk anlaşılır. Arakatkıdaki kuars ve Crinoid eğrileri bir dışa sivri sunarlar. Kuars ve Crinoid boy ve bolluk eğrileri mikrofasies 2 de paralel değildir. Buna sebep, çekirdekten uzaklaşıldıkça kuarsın hem gelişine hem de boy ile bolluğunun artmasıdır. Böylece çekirdeğin başladığı yerde kuars azalmıya yüz tuttukça Bryozoa, Ost-racod, şpikül ve hepsinden daha önemlisi iri fosiller mikrofasies 1 de çoğalma yolunu tutarlar. Kireçli algler mikrofasies 1 in oldukça derin safhalarında iyi gelişmişlerdir ve bollukları kalkarenit ara katkısına karşı düşer.

**Kesit B**

A nın 70 ayak batısındadır ve arada benzerlik vardır. Tabakalar ol-

dukça ince, tabakalanma düzlemi dalgalıdır. Aralı derzler yumrulu bir görünümü başışlar. Kuars boy ve bolluğu eğrileri, her ne kadar kesiklikler sunarlarsa da, Crinoid eğrileriyle ters gidişlidir. Kesit A ile deneştirilince, Crinoid boy ve bolluğu mikrofases 2 de daha düşüktür.

A ve B kesitlerinde kuars ile Crinoid boy ve bolluk eğrilerinin paralelliği tanelerin bitevil bütünlenmesini ve eşitli dağılımını söyler. Kesit B nin üst kısmındaki iki seviyede iki ters ilgi vardır. Crinoid eğrilerinin kuars eğrileri ile uyumsuz ilgisi farklı bütünlenme kaynaklarına işarettir.

Kireçli algler derin kalkarenit fasesinde daha olağandır. Bu alglerin eğrisi ile Crinoid eğrisinin ters gidişli oluşu az çok farklı bütünlenme kaynağına delâlettir; çünkü, bir kısım Crinoid'ler, çekirdekten ışınsıyan konilerin oturma, kayma ve akmalarıyla gelmişlerdir. Mikrofases 1 de Bryozoa daha olağandır. Mikrofases 1 de iri fosil bolluğu, A kesidindekine benzer.

### **Kesit C**

Kesit B nin 75 ayak batısındadır. Mikrofases 1 doğuya doğru inceler ve kesit çizgisi C den önce son bulur. Kireçtaşı 1-3 ayak kalın tabakalı dışı beyaz içi kahverengimsi, ince dokulu, keskin kavkılı kırıklı, kırılğan, erime boşlukları hemen hemen tabakalanmıya paralel 3/4-3 ayaklık erime boşlukludur. Kuzeye bakan dik yar başka kesimlerde olduğu gibi yosun ve liken ile kaplıdır. Kireçtaşında sıkma ve açma olağandır. Tabakalanmaya kavuşan eğik kırıklar vardır, örnek keşidinin batısındaki kuru sel yolunun sarp kayalığına çok ince dokulu beyaz, 16.5-12 inçlik üç kuarsit bloku vardır. İstife yabancı bu malzemenin, başka yerlerde kireçtaşının erime boşluğunu yukardan doldurduğu öğrenilmiştir.

Bitevil kesitte kuars kırıklık ve bolluk eğrileri kesişir ve kesit çizgisinin alt kısmı ile ortasında ters gidişlidir. Hemen aynı seviyelerde Crinoid kırıklık ve bolluk eğrileri de hemen hemen eşittir; fakat genel gidiş eğrisi, kuars eğrisini daha aşağı ve Crinoid eğrisini daha yukarı seviyede keser. Bu hal, bahis konusu parametreler için geçici ve farklı bütünleme kaynaklarını ifade eder. Dipte yaşıyan organizmaların bolluğu, hareketli çökelleme kuşağında daha da artar. Kuars bolluğu dışı sivrisi bentonik

kireçli organizmaların nispi azalmasına karşı gelir. Bu kesit boyunca Bryozoa bulunmayışı dikkati çeker. İri fosiller seyrekler.

Bentonitlerin bolluğu ve pelâjiklerin yokluğu daha sık ortama delâlet eder. Bu sonuç kırıntı gibi hareket eden kuars ve Crinoid sapı halkalarının varlığı ile kuvvetlenir.

### **Kesit D**

C kesidinin 178 ayak doğusundadır. Taş basamaklı bir sel yatağını takibeder. Kireçtaşı yosun ve liken ile daha az kaplıdır; içi ve dışı kahverengimsidir; erime ile yumrulu görünüşü kazanmıştır; Stromatactis'e benzemiyen iri, berrak veya beyaz kalsit dolguları vardır. Tabakalanma dalgalıdır ve kalın tabaka içerisindeki bölünme düzlemleri kaybolur veya yeniden belirir ve bunlar çürüme ile daha da göze çarpar.

Dolosilit istifinde Crinoid bulunmayışı dikkate layıktır. Kuars çokçadır. Kırıklık ve bolluk eğrileri paralelliklerini kaybeder, alt ve orta kesimde kesişirler. Bu seviyelerde kuars eşitsiz bütünlenmesi ve düzensiz dağılımı bahis konusudur. Aynı seviyeler, dipte yaşayan kireçli alglerin nispi bolluğuna raslar. iri fosil parçaları olağan değildir.

### **Kesit E**

D kesidinin 220 ayak batısındadır. Crinoid yokluğu, kuars eğrisinin gidişi ve kireçli alg bolluğu bakımından D kesidini andırır. Evvelce olduğu gibi, Crinoid yokluğu dikkati çeker. D nin alt kesimindeki dışa sivriler, E kesidinin üst kesimindeki dışa sivrilerle eş ve eşitlidir. Kireçtaşı kabaca tabakalı, boz çizgi sarımtırak sıkı, ince taneli, yüzeyde beyaz kabukludur.

### **Kesit F**

E kesidinin 590 ayak batısındadır. Kayalık sel yatağının batısında 1 inç-1 ayaklık tabakalar daha düzenlidirler; yüzleri hemen hemen düzlemseldir. Yapı seviyesine yakın kahverengimsi kireçtaşında iri, düzensiz kalsit dolguları bulunur. 4 ayak kadar kalın düzensiz tabakalanmış kireçtaşının çürümesiyle devamsız ve daha ince tabaka birimleri zuhur eder. Erime boşlukları tabakalanmayı güder. Bu kesidin alt kısmındaki eğrilerin, C kesidinin üst kısmındaki eğrilerle bir dereceye kadar ben-



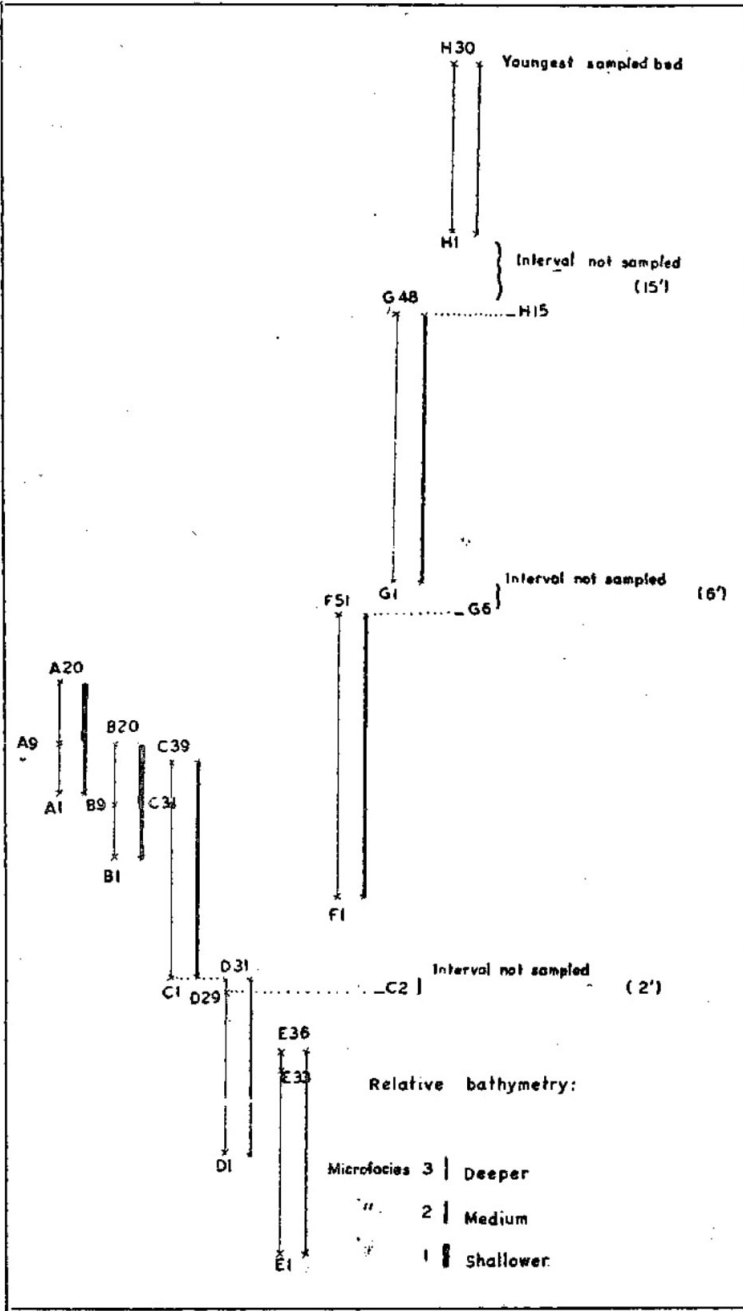
zerliği vardır, Kuarsın kırıklık ve bolluk eğrileri beslenmenin devamlı ve yayılmanın eşit olduğunu anlatır. Crinoid'lerde ortanın üst kısmı ayrı, aynı durumdadır. Ortanın üst kısmının ters gidişi geçici ve düzensiz beslenme ile eşitli olmıyan dağılmaya işarettir. Demek ki, kuars ve Crinoid'in kaynakları aynı değildir. Bryozoa bolluğu, kuars ve Crinoid azalmasıyla karşılanır. Kireçli alg azalmca Ostracod da azalır ve bu, kabaca Crinoid'in de azalmasına karşılıktır. İri fosiller, istifin üst kısmında seyrek değildir.

### **Kesit G**

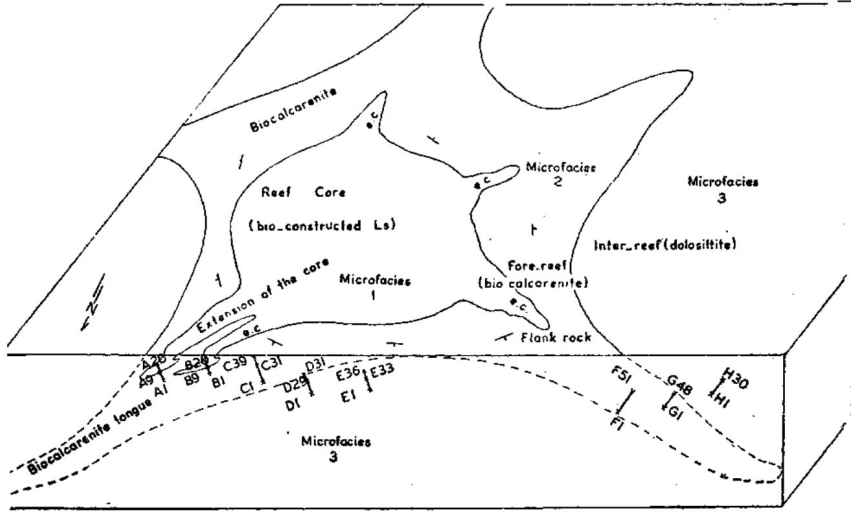
F kesidinin 190 ayak batısındadır; stratigrafi bakımından F den daha yukardadır. Kireçtaşı orta dokuludur, tabakalanması bitevil incedir; havada kahverengimsi olur, çürüme ile bölünme düzlemleri belirir; 1 yardadan daha geniş erime mecraları vardır. Kuarsın kırıklık ve bolluk eğrileri paraleldir ve dışa sivriyi Bryozoa eğrilerinin içe sivrililerine karşı gelir. Aynı durum Crinoid ve Bryozoa yüksek değerleri ile Ostracod alçak değerleri için de görülür. Crinoid kırıklık ve bolluk eğrileri kesidin aşağısında bir ve yarı yukarısında dört yerde ters gidişlidir ve buraları Bryozoa ile Ostracod'ların az bulunduğu yerlerdir. İri fosiller istifin alt ve üst kesiminde bulunur.

### **Kesit H**

G kesidinin 275 ayak batısındadır ve bütünlenmiş stratigrafi sütununun en yüksek kısmıdır. Kireçtaşı hafifçe kaba dokulu, çokça jeodlu, yer yer beyaz kalsit dokuludur. Bütün mostradaki en iyi gelişmiş eşitli tabakalanma bu kesitedir. Bryozoa bulunmayışı dikkate değer. Kuarsın kırıklık ve bolluk eğrileri paraleldir. Crinoid'e ait bulunanlar kesidin üst yarısındaki üç yerde kesişirler. Crinoid'lerin bu eşitsiz bütünlenme ve düzensiz dağılım safhalarında alg ve Ostracod'lar daha az elverişli şartlar bulmuşlardır. Ostracod'ların çokluğu, Crinoid'in yüksek parametre değerine karşılık gelir. H kesidinde Crinoid bulunmasına karşılık D ve E kesitlerinde Crinoid bulunmayışı belki de (Şek. 5 ve Şek. 6 blok diyagramda görüldüğü gibi) stratigrafi konumu ile ilgilidir. H kesidi, canlı kalkareniti dili üzerinde, D ve E kesitleri ise altında bulunurlar.



Şek. 5- Kesitlerin konumu, örnek kesitlerin korelasyonu ve nispi batimetresi



Şek. 6 - Shanty Falls resifinin ideal blok diyagramı

### İdeal kesit

Ayrılanmış üç mikrofasiyes zaman ve mekânda karşılıklı ilgili yönde, ortam şartlarını ve aynı zamanda resifin yerleşmesi ve gelişmesiyle oluşan değişiklikleri gösterirler. Merkez çekirdek, resif ilerisi kuşağı ve resif arası kuşağı çökeltme örneklerine girik örnektir. Şekil 5 te görüldüğü üzere, mikrofasiyelerin düşey ardışmasını ve yanal sıralanmasını organik olan veya olmiyan parametre eğrilerinin özelliklerinden de öğrenmek imkânı vardır. Parametre eğrilerinin düşey ve yanal yönde azalıp çoğalması çökeltmede devre göstermez.

Her üç mikrofasiyes, tipik resif büyümesiyle bağdaşıktır. Gerçekten, blok diyagram üzerinde görüldüğü gibi, bu fasiesler giriktirler: Canlı yapımlı kireçtaşı, resif ilerisi tabakalarına diller yollar; resif ilerisi tabakalarının da havzadaki resif ilerisi tabakaları arasında uzantıları vardır. Arazi müşahedeleri ile resif kısımlarını tesbit etmek güç olduğu yönde, E. R. CUMINGS & R. R. SHROCK (5) incelemelerinde yanılmışlardır. Mikrofasiyes ayırdı ve istatistik incelemeye dayanan bu etüd, Shanty Falls resifinin çekirdeğinin mostra vermediğini, bahis konusu edilen dik kireçtaşı yarında sadece çekirdeğe ait ışınsal eğimli iki uzantının bulunduğunu, dik kireçtaşı yarınının kalkarenit (resif ileri tabakaları : A, B, C,

F, G kesitleri) ile dolosiltitten (resif arası tabakaları : D, E, H) yapılmış olduğunu açıklamıştır. Blok diyagramda, (Şek. 6) büyüme safhalarından birisi gösterilmiştir; fakat, elbette ki, benzerleri stratigrafi sütunun daha alt ve daha üst seviyelerinde mevcut olmuşlardır.

Araştırılan kesitlerin korelasyonları evvelâ A, B, C arasındaki eğri-lerin ve D ile E arasındakilerin değişimlerine dayandırılmış, sonra da durum (Şek. 5 de) kabaca gösterilmiştir.

### **Kesitlerin ayrı batimetreleri, derinlik korelasyonları ve bütünlenmiş bileşik kesidin batimetresi**

Nispî batimetri eğrisi, nispî derinlik konumuna, yani ele alınan mikrofasiyesin çökmesi sırasında suyun nispî derinlik ve çalkanmasıyla ilgilidir. Doku tahlili, organik olan ve olmıyan bileşenlerin kantitatif olarak ele alınması hem nispî derinlikleri hem de derinliklerin dalgalanmalarını çözmeye yarar. Aşınma veya çökelme yüzünden olan kesiklikleri, eğri üzerinde dışa sivrilerin bir kısmının gözükmemesi veya hiç gözükmemesi açığa çıkartır. Mikrofasiyes boyunca mikroskop bileşenlerinin değişimleri diziyi sıralar. Ele alınmış bulunan resif ortamının bilmen ve belli olan bir tortul örneği vardır. Derinlik verilmesi, doğrudan doğruya mikroskop muayenesi ile değildir de, istatistik tahlili, paleoekoloji, v. s. verilerine dayanır ve bir sayı ile ifade olunur. H. A. LOWENSTAM (13) bazı organizmaların özgül resif ortamlarında en çok geliştiğini ve belli derinliği olan kuşaklarda çoğaldıklarını göstermiştir: meselâ Stromatactis sakin kuşakta, Bryozoa az hareketli suda, mercanlar dalgaya dayanıklı olarak hareketli suda görülür. Sürüklenmiş bileşenlerin kırıklık indeksi derinlikle ters orantılı fakat çalkanma ile doğru orantılıdır.

*Mikrofasiyes 1:* Çökme dokusu sıkıdır. İskelet yapan ye dalgaya dayanan organizmalar olağanüstü gelişmiştir. Su berrak, sürüklenmiş Crinoid'lerin gösterdiği üzere çok hareketlidir. Işınsal döküntü konilerine Crinoid'ler büyük miktarlarda katılmışlardır. Dalga ve akıntılarının etkisiyle tek veya yığınak halindeki şekiller çekirdek uzantılarında gevşek bir iskelet yapabilmişlerdir. Killi madde yoktur. Bu dışa doğru eğimli olan en sığ ortama ince kuars taneleri geçici ve gelişi güzel olarak yayılmıştır.

**Mikrofasies 2:** Doku organik olan ve olmyan bileşenler bakımından mikrofasies 1 den farklıdır. Bileşenlerde yönsüzlük geneldir. Crinoid'lerin boyu ve bolluğu, az sert suyun daha da üstün yeteneği dolayısıyla, daha yukarı mertebededir. Crinoid'lerin kırıntı malzeme gibi hareket etmeleri yüzünden, çekirdekten uzağa tatlı eğimli ışınsal kamaları, Crinoid'leri ufalanan ve taşınan bir kaynak durumundadırlar.

**Mikrofasies 3:** Çökeltme dokusu son derece incedir. İncecik zerrecikler veya yaygın killi maddeler sakın en derin suda durulmuştur. Mikrofasies 2 nin mikrofasies 3 alanına doğru uzanışa mikrofasies 3 te, yani en derin ortamda hem doku hem de organik olan ve olmyan bileşenlerde farklılaşmaya sebep olmuştur. Kalkarenit altındaki dizi (D ,E) Crinoid'sizdir (daha derin safha), oysa ki üstündeki istif Crinoid'lidir (daha sığ safha). Kuars ile Crinoid mekanik yönden dağıtıldığından, bu kırıntılarının değerinde azalma, enerjinin resif arası havza doğrultusunda taşıma gücünden gittikçe kaybettiğine delâlettir.

Yukardaki açıklama çekirdekten (canlı yapımlı kireçtaşı) başlayıp, kanat tabakalarından geçerek (kalkarenit), havza istifine (daha derin fasiesli Crinoid'siz dolosiltit ile daha sığ fasiesli Crinoid'li dolosiltit) doğru olan nispi derinlikte bir artışı belirtmiştir. Bunların her birine karşılık gelen kalitatif değerler, türlü kalınlıkta düz çizgi halinde kesitlerin sağ tarafında gösterilmiştir (Levha III). Şek. 5 ve Şek. 6 üzerinde çekirdeğin uzantıları canlı kalkarenitin de diller gibi gözükür. Kalkarenit uzantıları da havzadaki istif içerisinde kama halinde sonuçlanır. Batimetri eğrilerinin genel gidişi çizgi seldir ve bu hal de resiflerin evrim örneği ile bağdaşktır.

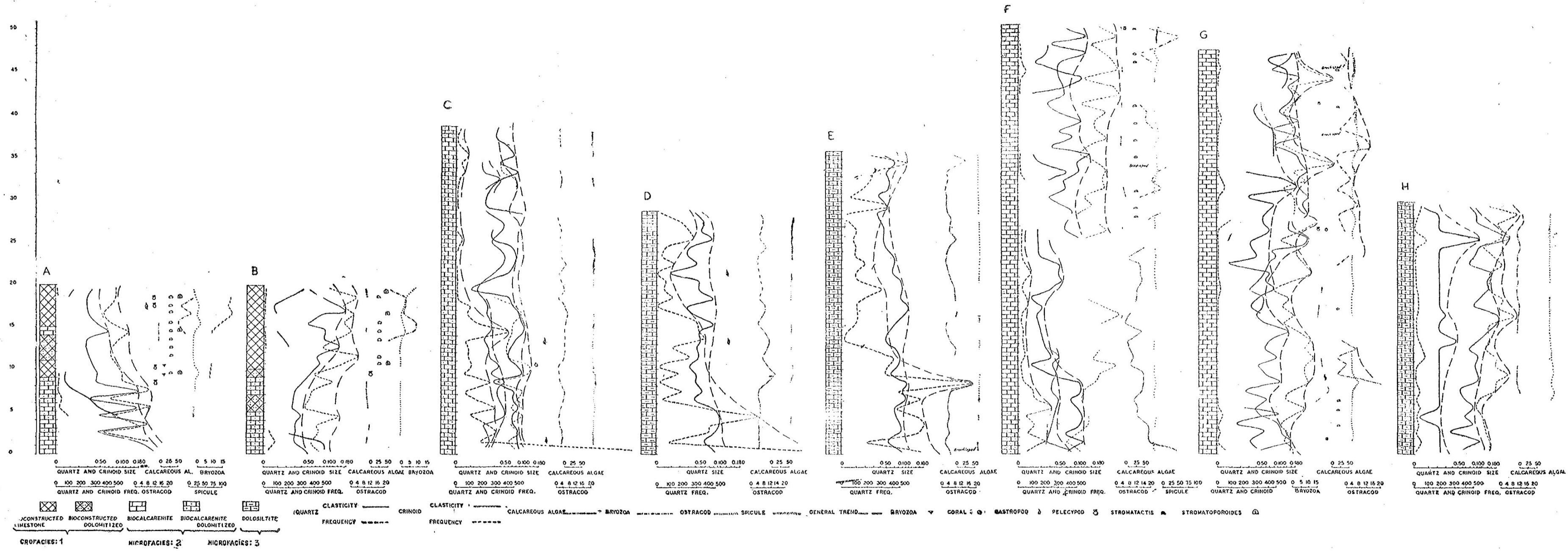
## SONUÇLAR

Resiflerdeki işlemlerin bileşmesiyle oluşmuş resif kireçtaşları gözle küçük doku ve bileşim farkları sunarlar. Mikrofasies ayırdı ve istatistik tahlili yollarından inceleme ile üç doku tipi ortaya konmuştur. Böylelikle bitevil istifte ayırtlama ve sınıflama yapılmıştır. Böylece ele alınınca, evvelce sanıldığığının tersine olarak dik yarın çekirdek olmadığı, doğudaki resif ilerisi tabakaları arasında çekirdeğin iki uzantısı ispatlanmıştır. Resif ilerisi tabakalarının, resif arası tabakaları içerisinde uzantısı vardır. Havza tabakaları ayrı organik bileşenlere maliktir. Bahis konu-

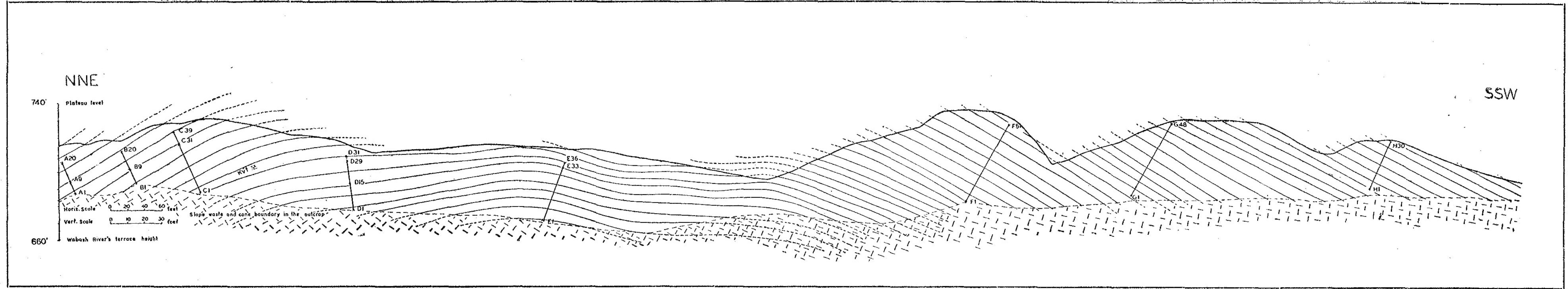
su canlı kalkareniti altında ve üstündeki ilgili parametre değerleri de mevcuttur. Dolomileşmenin ilerlemesi, çökellerin ufalanma derecesiyle orantılı ise de, organik kalıntı bileşenleriyle ilgili değildir. Suyun derinliği çekirdekten havzaya sistemli olarak artarsa da, suyun çalkanması ters yönde bir çoğalma gösterir.

Not : Bibliyografya İngilizce makalenin sonundadır.

*Neşre verildiği tarih 20 Kasım, 1963*



MİKROSKOPİK BİLEŞENLER VE PARAMETRE DEĞİŞİMLERİ  
MICROSCOPIC COMPONENTS AND PARAMETER VARIATIONS IN THE INVESTIGATED SECTIONS



Şek. 2 - Örnek kesitlerin arazi ilgileri diyagramı  
Fig. 2 - Diagram of field relations to sections of sampling



# MICROFACIES STUDY OF THE SHANTY FALLS REEF, WABASH, INDIANA

İ. Enver ALTINLI  
*University of Istanbul, Turkey*

ABSTRACT.— Microfacies and statistical study of the Shanty Falls reef, revealed that it consisted of three microfacies, ranging from bioconstructed limestone (extensions of the core) to biocalcarene (tongue of the fore-reef) and dolosiltite (basin of the inter-reef). The microfacies study allowed subdivision into textural types and permitted differentiation and classification of the uniform limestone sequence. The data derived from microscope are used for correlation of eight field sections, for tracing the evolution of the microfacies parameters, and for the bathymetry.

The statistical measurements of the organic and inorganic parameters in thin section disclosed that the reef system is cut through flank rocks by Wabash River and the core, which stays hidden to the south of the outcrop, is not yet exposed by erosion. The statistical consideration of the crinoids in the core extensions and in the flank rocks showed that the fore-reef sequence is not altogether derived from the destruction of the main core, but growing in situ has received contributions from the talus cones radiating from the central mound.

This microscopic and statistical approach has brought in corrections and refinements to the older megascopic field observations.

## ACKNOWLEDGMENT

The author is indebted to Prof. G. W. WHITE, head of the Department of Geology of the University of Illinois, Urbana, 111., for being received as a visiting scientist during the summer of 1962. He wishes to convey his thanks to Prof. A. V. GAROZZI for introducing him to the study of the reefs, and permitting the choice of Shanty Falls reef (Fig. 1) for investigation by means of statistical petrographic analysis. The help of Prof. W. W. HAY for making the photomicrographs, and of Dr. J. E. LAMAR for arranging to continue the X-raying at the Illinois Geological Survey, to D. TEXTORIS for offering drive twice to the area, and to E. R. PAULUS for permitting field work within his farm.

## INTRODUCTION

This paper discusses a reef structure and its microfacies, based upon the detailed petrographic study of oriented thin sections according to a

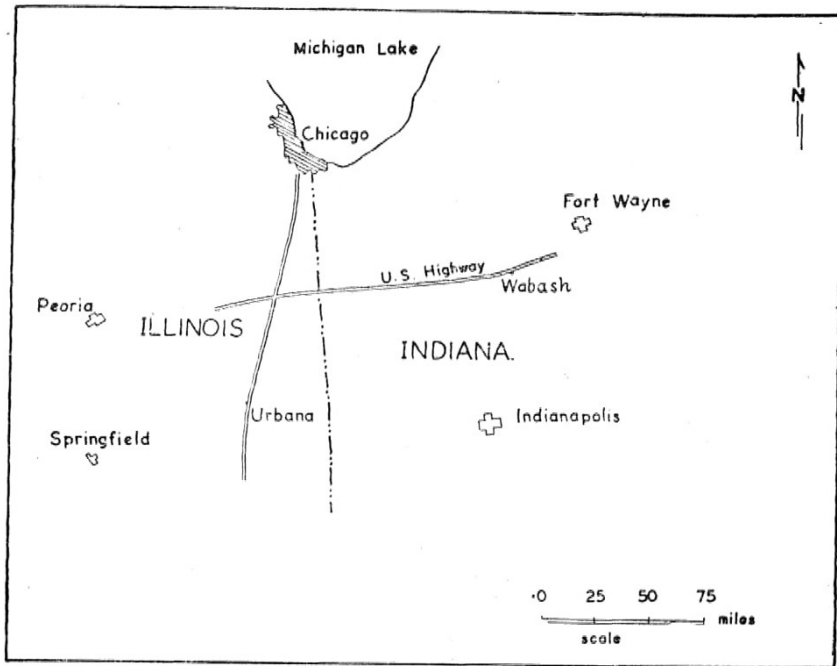


Fig. 1. Location map of the investigated sections

method developed by A. V. CAROZZI (1, 2) for limestones. This statistical approach permits a subdivision of an, eventually, uniform sequence according to the differences in texture, organic and inorganic components and also a reconstruction of the depositional environment of the particular microfacies. To acquire fresh samples on vertical sections, notches along the limestone bluff were chosen on one or two sides of the ravine (Fig. 2 and Fig. 6). For complete recovery a rope ladder was used over the sheer faces of sections E and F. The total of oriented samples taken from eight sections at one foot intervals, is 273, which is also the number of thin sections. The field relationships of sections is better seen in Fig. 5. The aggregate sampled section amounts to 191 ft, but there are unsampled intervals of 2 ft between C and D, 8 ft between F and G, and 15 ft between G and H; the sequence thus totals 216 ft. Steel tape, straight edge and Brunton compass were used for field measurements, detailed description of rock type, succession and structure were entered in the notes. The thin sections made by the author were X-rayed before

being covered with slip glass. A copper X-ray tube with 1° slit was used. Rotation through an angle (2θ) of 7° (26°-33°) was adopted; goniometer speed was set 2° per minute; reflections were automatically recorded by a General Electric Speedomax. The X-ray data were only used quantitatively to detect the existence of dolomite, quartz, and feldspar.

The slides were run successively for each individual statistical analysis of organic and inorganic components. Three microfacies were differentiated by variations of microscopic parameters and texture.

### HISTORICAL ASPECT

The historical review of the Niagaran reefs of northern Indiana by V. E. ZADNIK (17), will not be repeated here. The following is an excerpt from E. R. CUMINGS & R. R. SHROCK (5, p. 151) for Shanty Falls reef, who first demonstrated that the domelike features of northern Indiana were not anticlinal structures:

«Shanty Falls.— Another reef of enormous dimension is exposed in the high south bluff of the Wabash River and Shanty Falls, a mile west of Wabash. This is probably the most spectacular reef outcrop in the State. The grim gray reef raises with westerly dip, just east of the mouth of Shanty Falls, and extends with gradually culminating grandeur for nearly half a mile along the bluff, the dip finally shifting to easterly. At their maximum, their rugged cliffs rise 80 feet above the river bottoms, fringed by a heavy talus at their feet. Great cavernous holes are eaten out of the towering mass. The section cuts the core and brings out wonderfully well the extraordinary massiveness of these imbedded, gigantic mounds of rock. In the bluffs of the creek at the picturesque Shanty Falls the horizontal beds of Liston Creek limestone, Red Bridge member and underlying Mississinewa shale are beautifully exposed. This reef undoubtedly has its roots in the Mississinewa and extends far up into the Liston Creek.»

Since the discovery of oil in 1943 in a Silurian reef of Illinois, the reef structures became subject to a sustained and detailed study. Among the recent investigations at the nearby Wabash reef (4) are included an elaborate study of a Silurian reef and its sedimentary development reflected by microscopic parameters.

## GEOGRAPHICAL LOCATION AND MEGASCOPIIC DESCRIPTION OF THE SHANTY FALLS REEF

The Shanty Falls reef is located in Wabash County in northeastern Indiana, in the NE 1/4 sec. 16, T. 27 N., R6E. It is dissected by the Wabash River in NNE-SSW direction, tangentially to the core. The block diagram (Fig. 6) shows one horizon of the dome-shaped structure; the uncovered core lies south of the natural section line; only two of its prolongations occur at the bluff, which averages 40 ft in height over a distance of 1498 ft between the first (A) and last (H) sections. The river's lower terrace lies at 660 ft, and the plateau at 740 ft elevation.

The stratified flank beds dip steeply and radially from the center. The initial dips were subsequently increased by differential compaction between the non-compactible core and the compactible inter-reef beds. The cracks are possibly of release fracture type, as the area in the geologic past has been stripped from younger stratigraphic systems.

## METHODS AND TECHNIQUES OF MICROSCOPIC INVESTIGATION

The inorganic and organic components were observed with a microscope in six random view areas, and for consistency the center of the cross-hair was marked with a dot of India ink on each slide. From top to bottom the right row was considered to be 1, 2, 3 and the left one 4, 5, 6. For sections with smaller area only three were considered and the counts were doubled to keep the scale. The size and frequency measurements and reckonings involved an area of 10.28 mm<sup>2</sup> in each view. The components which were abundant enough for statistical consideration were measured. Megafossil fragments were not considered statistically but their presence is indicated by symbols on Plate III. The thin sections were classified and grouped into three microfacies. The inorganic and organic parameter values were plotted to the right of the lithologic column. These variation curves and also the main trend curves representing a generalized interpretation of the former are shown on Plate III, together with the correlations. From these the conditions of deposition, as well as their fluctuations are deduced. The mechanical conditions of the environment of deposition and the bathymetry varied in time as indicated by the microscopic parameters reflecting the variances in sedimentation, and also in space, as shown by

the presence of stratigraphically equivalent units. The «index of elasticity» representing the maximum diameter of a given detritus is found by measuring the largest apparent diameter in each of the six areas of view of the slide. It indicates the diameter of the largest grain set in motion by the active forces of the environment and so the transportation and agitation power of the water. In the present investigation those of the quartz and crinoids are entered. Quartz is the only inorganic parameter, and it is known to be of outside source in regard with the reef structure. Because the crinoid fragments behave as detrital, elasticity and frequency determinations are applicable to them. The frequency is the number of particles present in the six areas of view of thin section, and this is shown for quartz, crinoid, calcareous algae, bryozoan, ostracod and sponge spicules. The frequency is related to the competency (energy) of the waves and currents.

#### DESCRIPTION OF THE MICROFACIES

The examination of the slides under the petrographic microscope, without consideration of location, revealed the existence of three microfacies, each being recognizable through a particular texture, organic and inorganic content. Sedimentary conditions are deduced by the «look». Although the microfacies changes are mainly gradational, there exists fairly close agreement between microfacies and the outcrop lithologies. The dolomitization is of secondary nature, and has not obliterated the original character, so it does not enter into the microfacies subdivision or classification. This alteration is diagenetic, and does not make a separate type, but rather a special variety. No key bed exists along the bluff under consideration.

*Micro facies 1* (Plate III, sections A and B).— Bioconstructed limestone, white to slightly yellowish, compact, fine-grained, detrital matrix, dolomitized or not; light gray to yellowish, slightly spathic at places, porous or not; but eventually vuggy, evenly bedded, with occasional stromatolites, and also white secondary calcite veinlets. It makes up the reef core and its protruding fingers.

*Micro facies 2* (Plate III, sections C, D, E, F). — Biocalcarenite, fine-grained detrital matrix, dolomitized or not; white or gray; when gray and becoming buff by exposure, coarser textured or medium-grained or spathic, irregular break, stylolitic at places, more or less porous, especially near the surface, occasional white streaks. It makes up the fore-reef beds.

*Micro facies 3* (Plate III, sections G, H).— Dolosiltite, even gray or grayish-purplish-yellowish, becoming buff by exposure, very fine-grained, spathic, rarely compact, irregular-angular fractures, large pores in places or at horizons, white calcite veinlets. It makes up the off-reef (inter-reef) beds.

The calcilutite groundmass is diagenetically changed into dolosiltite. There is not a specked appearance which would suggest a former pelltoidal structure. The leaching of organic remains and some interstitial material have made the porosity. Besides the finely-ground organic remains there are scarce large columnals; The dolomitization is secondary, and although it is eventually well advanced, it has not obliterated the original

#### PLATE I - PHOTOMICROGRAPHS

*A Microfacies 1:* A20-2 bioconstructed limestone (dolomitized). X30, parallel nicols.

Gray, microcrystalline, even matrix is scarce. There are small (0.17/0.12 mm), scattered dolomite rhombs. Quartz size 0.06 mm, frequency 1, average per slide 0.16. Crinoid, bryozoan, ostracod, stromatolites.

*B Microfacies 1:* B20-5 id. (non-dolomitized). X 30, parallel nicols.

Fragmental crinoid, ostracod, bryozoan, calcareous algae, stromatolites. Stylolites are conspicuous through argillaceous matter. Quartz size 0.18 mm, frequency 14, average per slide 2.33.

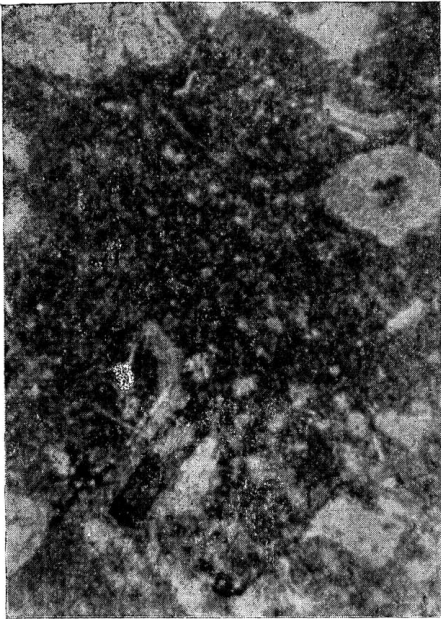
*C Microfacies 2:* F33-2 biocalcarenite (non-dolomitized). X 30, parallel nicols.

Matrix is fine-grained, scarce. Contact packed crinoids with secondary calcite growth in the same crystallographic orientation with cement. There are local dolomite crystals. Crinoids, bryozoan, ostracod do not parallel the bedding. Quartz size 0.1 mm, frequency 26, average per slide 4.33.

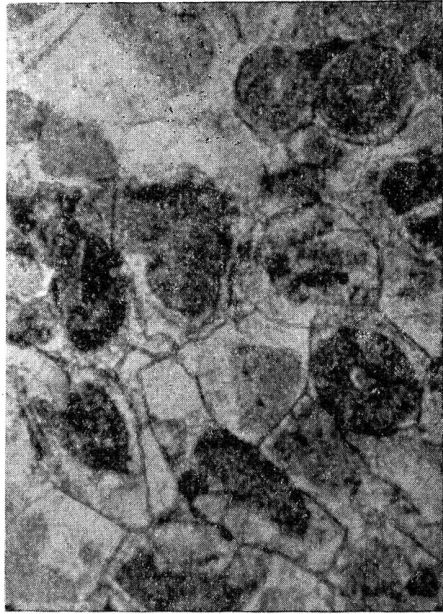
*D. Microfacies 2:* A8-5 id. (id.). X 30, id.

Fragmented and abraded crinoid, ostracod (crinoid, ostracod, bryozoan) are in a gray, fine-grained matrix. Quartz size 0.05 mm, frequency 4.66, average per slide 0.66. The organic and inorganic fragments are aligned roughly parallel to bedding.

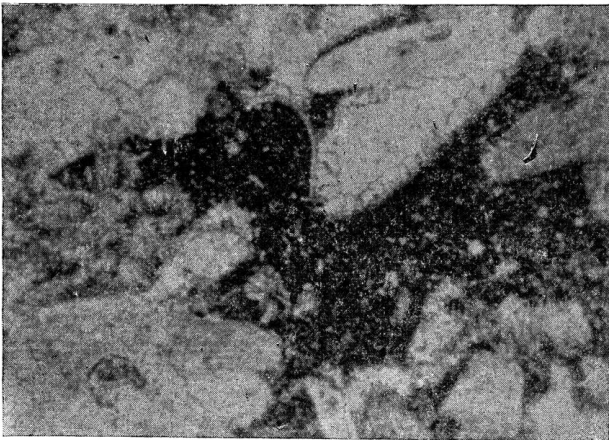
*A*



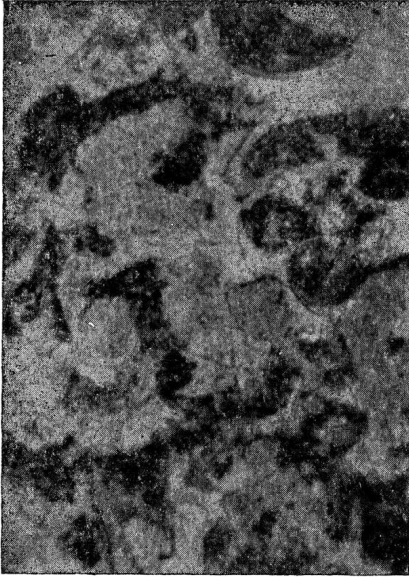
*B*



*C*



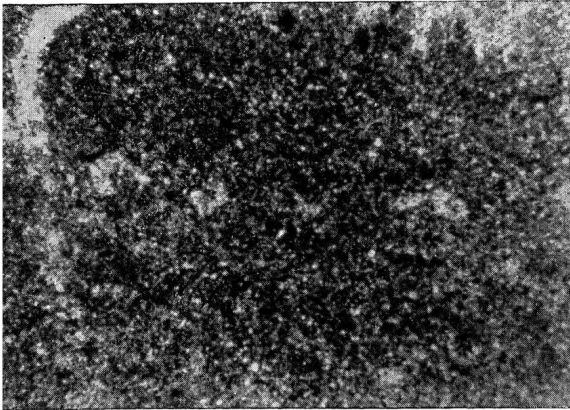
*D*



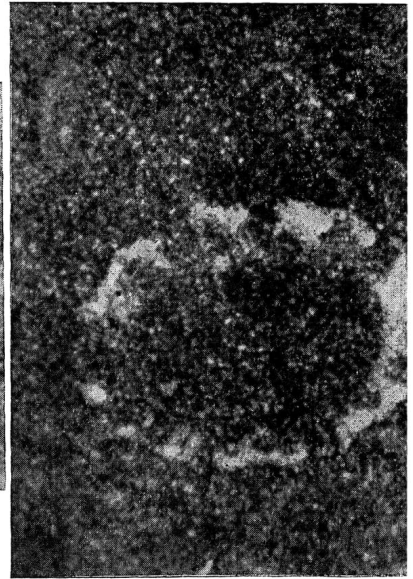
*E*



*F*



*G*



*I*



sedimentary Type. There are small amounts of terrigenous materials all through the column in the form of diffused materials and fine clastic particles, such as quartz, feldspar and mica. No cyclical pattern was evolved, because oscillations of the water depth were slight. The pattern of sedimentation in the respective zones of the reef structure did not remain constant in time and in space. The vertical succession of the microfacies, together with the correlations in the field and in the office are shown in Fig. 5. A little quartz and diffused clay materials possibly originated from the shallow portions of the continental platform, being transported by waves and currents to become a part of the reef structure. The general absence of chert, with only a single occurrence in one thin section, indicates the proximity of the core. Authigenic minerals are lacking. Foraminifera are absent in the sequences.

#### GENERAL EVOLUTION OF THE MICROFACIES PARAMETERS

The «Characteristic parameter values for microfacies» are shown in Table 1. «Position of maxima and range of variation of the index of elasticity of quartz» and «Position of maxima and range of variation of and range of

---

#### PLATE II - PHOTOMICROGRAPHS

*E. Microfacies 2:* G20-5 id. (dolomitized). X30, id.

Small crystalline diagenetic dolomitization has replaced the calcitic groundmass and organisms, although the latter is still recognizable through the larger dolomite crystals. The matrix is yellowish due to diffused clay matter. Quartz size 0.75/0,34 mm, frequency 25, average per slide 4;80. Crinoid, calcareous algae, ostracod.

*F. Microfacies 2:* B9-6 id. (id.). X30,W.

Crinoids are recognizable by larger dolomite crystals in smaller dolomite rhombs. There are clayey, brownish impurities around the crystallized organisms.

*G. Microfacies 3:* E27-3 dolosiltite. X 30, id.

The groundmass is fine-grained, with abundant diagenetic dolomite-silt and stained by diffuse argillaceous materials. Quartz size 0,05/0.04 mm, frequency 100, average per slide 16.66. Crinoid, ostracodf calcareous algae.

*H. Microfacies 3:* D15-3 id. X30, id.

There are scattered delicate algae, ostracod, which have lost their texture through larger crystallized dolomitization. There are also microscopic rhombohedra of dolomite. The black specks are possibly organic matter. Quartz size 0.04/0,04 mm, frequency 337, average per slide 56.3.

**MİKROFASİES**

1

2

3

	Ortalama kuars frekansı	Kuars frekansının değişim mertebesi	Kuarsın ortalama kırıklık indeksi, mm olarak	Kuars kırıklık indeksinin değişim mertebesi, mm olarak	Crinoid'in ortalama frekansı	Crinoid frekansının değişim mertebesi	Crinoid'in ortalama kırıklık indeksi, mm olarak	Crinoid kırıklık indeksinin değişim mertebesi, mm olarak	Kireçli alglerin ortalama frekansı	Bryozoa'nın ortalama frekansı	Ostracod'ların ortalama frekansı	
1	Kesit B	5.4	1-14	0.021	0.019-0.079	269.70	124-472	1.59	0.96-2.04	0.7	10.20	22
	Kesit A	2.18	1-4	0.0189	0.004-0.080	55.72	26-106	0.92	0.69-1.18	0.27	3.90	17.63
2	Kesit G	13.20	3-94	0.0296	0.026-0.097	264.30	20-494	1.58	0.40-2.74	1.27	4.12	10.31
	Kesit F	28.11	1-251	0.0234	0.004-0.097	99.17	1-180	1.18	0.64-2.50	26.07	3.47	2.47
	Kesit C	128.20	1-2034	0.0482	0.008-0.097	50.92	1-184	0.80	0.36-1.42	9	—	3.38
	Kesit B	13.4	10-19	0.0142	0.006-0.038	41.50	11-107	0.80	0.40-1.15	1.6	—	2.8
3	Kesit A	19.37	1-76	0.0157	0.008-0.084	361.55	91-658	1.43	0.59-2	—	2	2.88
	Kesit D	260.69	6-1567	0.052	0.008-0.095	—	—	—	—	15.96	—	2.34
	Kesit E	307.44	8-1363	0.0593	0.028-0.090	0.25	2-6	0.04	0.44-0.99	28.13	—	2.69
	Kesit H	23.60	4-93	0.0063	0.001-0.024	303.307	4-704	1.581	0.5-2.37	5.36	—	6

**Tablo 1 - Mikrofaseslerin karakteristik parametre değerleri**

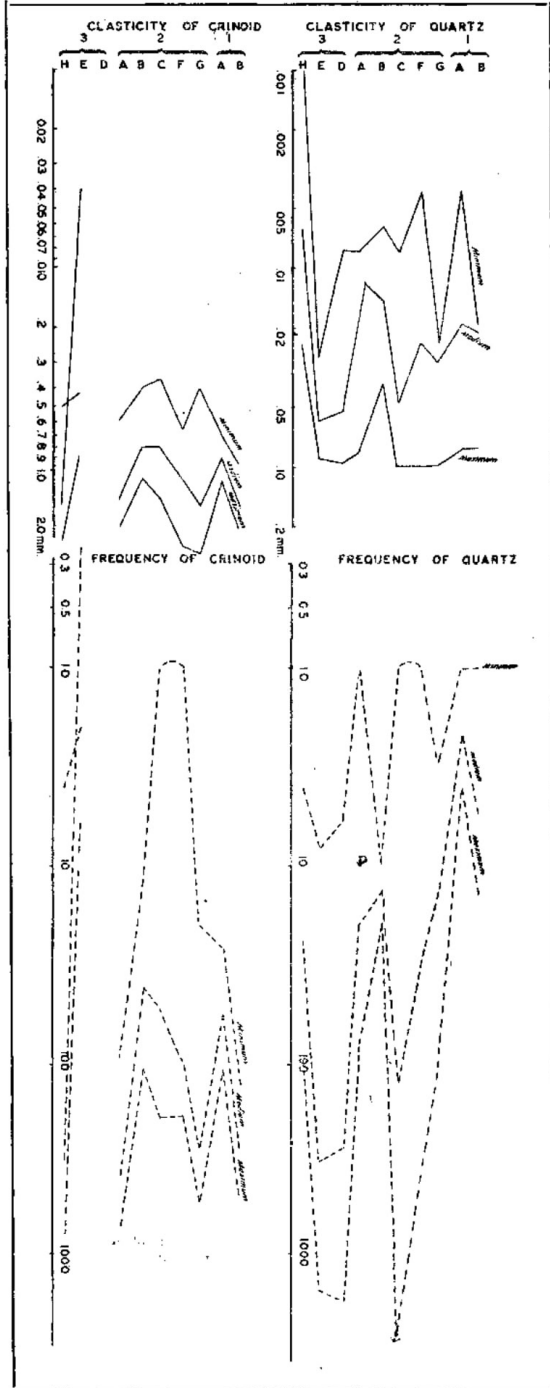
variation of the index of elasticity of Crinoid» in the index of elasticity of Crinoid» in the eight sections are replotted graphically (Plate III), either in semi-log or arithmetic scale according to the parameter values at hand. As dissimilar scales had to be used the graphs are not of comparable nature. The microfacies differ in their elasticity and frequency, so that there is a relationship between the micro-facies and the curves; also variations in the latter are helpful in correlations (Fig, 3, 4).

Quartz grains: Quartz grains are small, being dominantly in the range 0.02-0.05 mm; with a tendency of decrease in size from microfacies 3 to microfacies 1, with exception of section A and B (calcarenite); they are roughly equidimensional, mostly sub-rounded, distant, unevenly distributed. Quartz frequency displays an obvious decrease from microfacies 3 to microfacies 1, not exceeding 350 for the average of the former. The parallelism of the elasticity and frequency curves denotes a uniform supply and an even distribution (as is the case in the core and flank beds); while the reverse relationship discloses an opposite condition (as the case is with the basin). The parallelism of elasticity and frequency curves is for a regular supply and even distribution.

Other detrital minerals, such as mica, being rare are not considered.

Conoids: The stem fragments behave as detritals; broken and abraded columnals are more abundant; they are hard to differentiate from calyx plates; denticulation due to dissolution is not observable. The crinoid size curve, except for microfacies 3, is much higher in value than the quartz. The frequency curve exhibits a similar trend. The parallelism of the two crinoid curves, like those of the quartz, indicates uniform supply and even distribution. Their variable trends in microfacies 3 express for quartz and crinoid a changeable supply and uneven distribution.

The crinoid grains resist recrystallization and dolomitization, so their «ghosts» are recognizable as relic structures. Their parallelism with bedding is scarcely noticeable, possibly because of equidimensional shape. Contact packing is not frequent. Interlocking by pressure solution or overgrowth in optical continuity with the nuclei are observable.



Şek. 3 - Mikrofases kesitlerinde knars ve Crinoid'lerin kırıklık indeksi ve frekansının azamileri ile değişim mertebesi

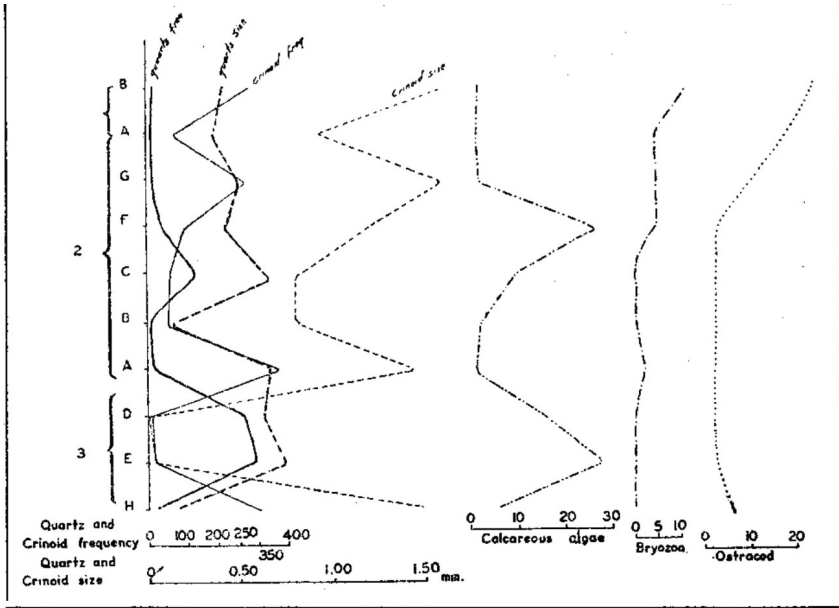


Fig. 4. Characteristic parameter curves for microfacies

The penecontemporaneous reworking of the components in all three environments, is controlled by wave base and slope. The central core area is shallowest, most energetic. The inclined flank zone is wave and current-swept above wave base; occasionally it receives sand and lime mixed with organisms from the talus cones radiating from the core. The inter-reef area lies beneath the wave base and accumulates lime mud in the basal depression.

The crinoid remains behaving as grains have accumulated mainly in situ over the fore-reef area, which has also received those derived from the core center together with other organic and inorganic fragments. Similarly, transportation on a much smaller scale took place along the flank digitations allowing only a reduced export of material to the peripheral basin zone.

Calcareous algae: Its frequency increases away from the core; such as in sections F and G in microfacies 2 and those in microfacies 3. In the latter area its trend is the reverse of the crinoid, which decreases while algae increases.

Bryozoa: The subdued curve of this benthonic group shows an increase toward the core.

Ostracod: The peculiar curve of this pelagic group displays an abundance in the core zone, and its trend is reverse to that of other organisms.

Sponge spicules: Being of sporadic or discontinuous occurrence, this benthonic group has not yielded enough data to be interpreted by means of a curve.

Megafossils: Belong mainly to the core area. Neither their frequency nor their size permit a plot in specific curves. Possibly their frequency rises with agitation, as in rough waters the waveresistant types would dominate, such as coral, sponge, bryozoan and also stromatactis. The latter also found optimum conditions in semkrough fore-reef environment. In quiet inter-reef water stromatactis and sponges are less common.

#### DESCRIPTION OF THE SECTIONS (PLATE III)

The microscopic parameters indicate the variations of sedimentation during the development of the reef structure, its growth effect in shallower water, and its impact upon the surrounding depositing sediments. Here, the causes of changes, and also precise depth assignment are not taken into consideration. The «main trend curve» is helpful in that it refers to the average, and this generalized parameter variation permits an easier grasp of the general sedimentation. General evolution of the microfacies parameters reflects the evolvement of the environmental conditions. A rough picture of the vertical succession and horizontal juxtaposition of the microfacies is given in Fig. 5.

#### **Section A**

In the lower part, limestone is thickly and more evenly bedded with a few, 1/2-3 discontinuities (possibly relief fractures) giving a nodular aspect, but upon the resumption of the divisional plane bedding is reassumed. Local lamination is rendered conspicuous by weathering. There are some small dissolution cavities. The joints are infrequent. This easternmost A section affords no break in the transition from the lower calcarenite (microfacies 2) to the upper bioconstructed limestone (microfacies 1). Sections A and B, possibly being nearest to the core of the reef,

exhibit two prolongations of it in their upper part, through specific lithology, organic and inorganic content. Quartz and crinoid are more common in microfacies 2. This is also witnessed by an intercalation of microfacies 1. Section A being somewhat further away from the core carries less crinoids. There quartz and crinoid curves are marked by peaks. The size and frequency curves of these components are not parallel in microfacies 2, and this is due to the advent and increase of quartz both in size and frequency with distance from the core, as quartz goes down where core begins bryozoan, ostracod, spicule and still more the megafossils are abundant in microfacies 1. Calcareous algae thrived in relatively deeper episodes of microfacies, 1, which do correspond to the intercalation of calcarenite.

### **Section B**

Lies 70 ft to the west of section A, and is similar to it. The beds are rather thin, the bedding planes wavy. Widely spaced partings impress a nodular aspect. Quartz size and frequency, although of discontinuous pattern, are of opposite trend to those of the conoid. Compared with section A, the size and frequency of crinoid is lower in microfacies 2.

In sections A and B the parallelism of quartz and crinoid size and frequency curves mean uniform supply and even distribution of the grains. There are two inverse relationships at two horizons in the upper part of section B. There, the nonconformable relationship of crinoid curves with those of the quartz denotes unlike sources of supply.

The calcareous algae are more common in deeper calcarenite microfacies; rather reverse trend of its curve with that of the crinoid means slightly unlike source of supply, as part of the crinoids are originated by reworking through the slumps of the cones radiating from the core. Bryozoan is more common in micro-facies 1. The abundance of megafossils in microfacies 1 is similar to that of section A.

### **Section C**

Lies 75 ft west of section B. Microfacies 1 tapers eastward and ends before reaching the section line C. The limestone is 1-3 ft thick, White outside but brownish inside, finely textured, sharp conchoidal breaking,

brittle, 3/4-10 ft solution cavities nearly parallel to the bedding. The northerly facing bluff is covered with moss and lichen, as usual. Lateral thinning and thickening of limestone is common. There are also slant breaks which merge with bedding. At a steep rocky gully, west of the section-line, there are three blocks (16,5"-12") of very fine-grained, white quartzite blocks. This occurrence is strange to the sequence, as it is a late filling of a limestone dissolution cavity.

In the uniform sequence quartz elasticity and frequency curves intersect and are of reverse trend near the bottom and near the middle of the section line; it is almost the same with crinoid elasticity and frequency at nearly the same horizons. But the main trend curve intersects for quartz at a lower, and for crinoid at an upper horizon. This denotes transitory unlike sources of supply for respective parameters. Benthonic organisms, frequency increases in the agitated zone of deposition. The peaks of quartz frequency correspond to a relative decrease of benthonic calcareous algae. It is noteworthy that no bryozoans exist along this section, Megafossils are rare.

The abundance of benthonics and the absence of pelagics indicate shallower environment and this is stressed by quartz and crinoid columnals which have acted as detritals.

## **Section D**

Lies at 178 ft west of section C. It follows a stony gully in steps. The limestone is less covered with moss and lichen; it is brownish inside and outside; it has a nodular look through dissolution. There are large, clear or white calcite fillings which do not look like stromatactis. The bedding is wavy, and inside the thick bedding divisional planes may appear and disappear, rendered conspicuous through weathering.

The absence of crinoid is noteworthy in the dolosiltite. Quartz is prominent; its size and frequency curves lose their parallelism and intersect near the base and near the middle of the column. These horizons disclose uneven supply and irregular distribution of quartz grains. The same also correspond to relative abundance of benthonic calcareous algae. Fragments of megafossils are unusual.



### Section E

Lies at 220 ft west of section D; it is similar to the latter in absence of crinoid, behavior of quartz curves and abundance of algae; likewise absence of crinoid is characteristic. The peaks at the lower part of section D are correlative with those at the upper sector of section E. The limestone is crudely bedded, gray-yellowish, dense, fine-grained, with white patina at the exposure.

### Section F

Lies 590 ft to the west of section E. To the west of the rocky gully 1 inch - 1 ft beds are more regularly bedded with nearly planar surfaces. Near the plateau the brownish limestone possesses large, irregular calcite fillings. Along with the irregularly bedded ( $\pm 4$  ft) limestone the weathering sets up discontinuous, thinner units. Dissolution cavities follow the bedding. There is some similarity of curves in the lower sector with those in the upper ones in section C. The parallelism of quartz size and frequency curves stress uniform source of supply and even distribution. It is same with crinoids, except at the upper middle part, which reverse trends disclose temporary irregular contribution and uneven allotment. This also suggests unlike sources for quartz and crinoid. The occurrence of ostracod is concomitant with decrease in calcareous algae, which decrease also coincides roughly with the increase of crinoid. Megafossils are not uncommon in the upper portion of the column.

### Section G

Lies 190 ft to the west of section F and its sequence is stratigraphically higher. The limestone is medium-textured, the bedding is evenly thin; it becomes brownish by exposure, divisional planes are enhanced by weathering and there exist solution channels more than one yard wide. Quartz size and frequency curves are parallel, and their peaks correspond to the lows of bryozoan curve. A similar coincidence is found between crinoid salients and Bryozoan and even ostracod recesses. Crinoid size and frequency curves are of reverse trend at one horizon in the lower half and four horizons in the upper half of the section; to them correspond lows for bryozoan and ostracod. Megafossils are present in the bottom and top of the column.

## **Section H**

Lies at 275 ft west of section G and it is the highest sector of the integrated stratigraphic column. The limestone is slightly coarser textured, more vuggy, with occasional white calcite fillings. The even bedding is the most persistent of the whole outcrop. The absence of bryozoan is noteworthy. Quartz size and frequency curves are parallel. Those of the crinoid intersect each other at three horizons in the upper half of the section. During these episodes of unsteady supply and uneven distribution of crinoid, the calcareous algae and ostracod found less favored conditions. The abundance of the latter also coincides with higher parameter values of crinoid. The presence of crinoid in section H is in contrast to its absence in sections D and E. This is possibly related to the stratigraphic position, as observed on the chart (Fig. 5) and also over the block diagram (Fig. 6). Section H lies over the biocalcarenite tongue, while D and E sections are located below the same.

### **Idealized section**

As the three differentiated microfacies are naturally related in time and space, they reflect the environmental features and the departures found with the establishment and evolution of the reef. The core, fore-reef and inter-reef zones of deposition evolved in an intertonguing pattern. The vertical succession and the horizontal juxtaposition of microfacies, as shown in Fig. 5, is also noticeable by the peculiarities of the curves of inorganic and organic parameters. Their increase and decrease, laterally and vertically, express non-cyclic sedimentation.

The three microfacies are in accord with typical bioherm growth; they are mutually intertonguing as shown over the block diagram (Fig 6). Bioconstructed limestone extends within the forereef tongue, and the latter within the inter-reef basal sequence. As a distinction between parts of the reef in the field, i e. megascopically, is difficult it is believed that the former study by E. R. CUMINGS & R. R. SHROCK (5) should be reappraised. The present investigation based upon microfacies differentiation and statistical approach reveals that no core body is exposed, but that there are two subsidiary radially dipping prolonga-

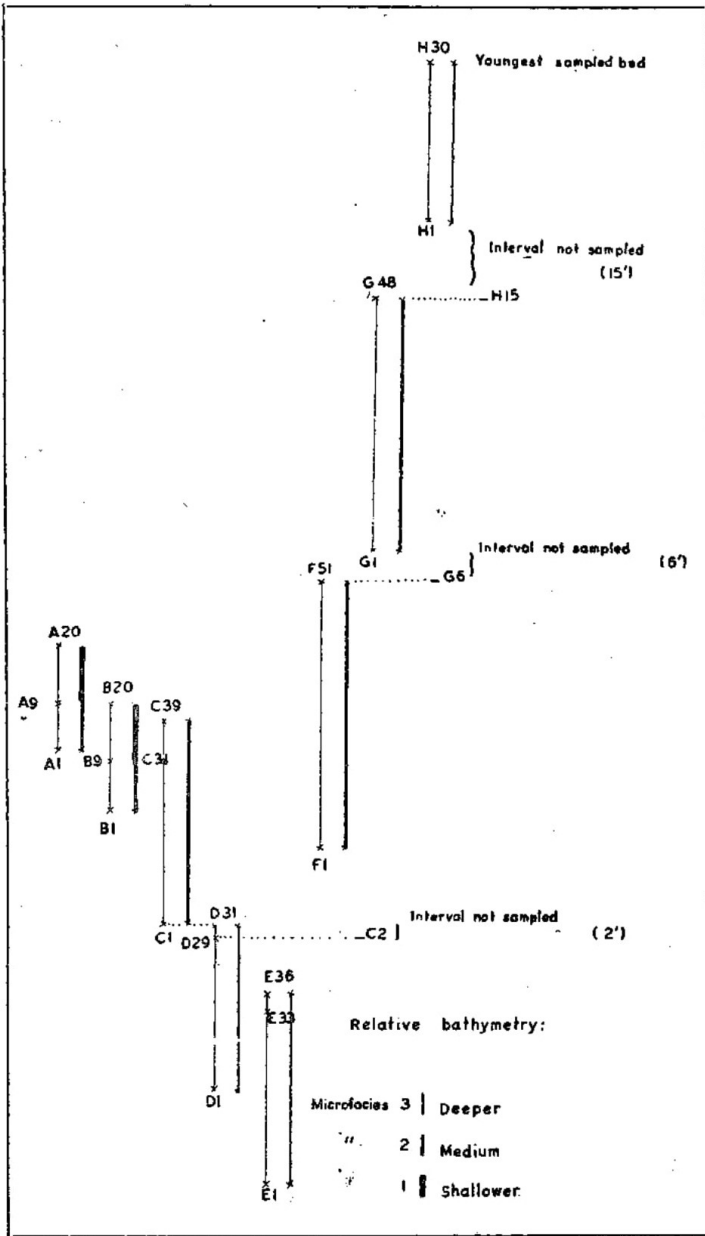


Fig. 5. Relative position of the sections and correlations of the sampled beds (Studied aggregate section: 19F Missing intervals: 2', 6' and 15'. The amount of the total sequences 214'), and relative bathymetry of investigated sections.

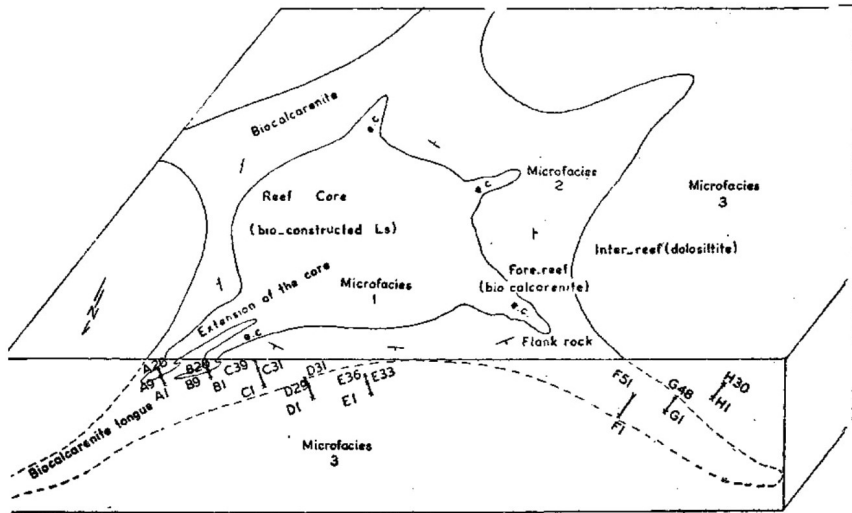


Fig. 6 - Idealized block diagram of Shanty Falls reef

tions of it over the bluff, which are made up in part by calcarenite (fore-reef beds: sections A, B, C, F, G) and in part of dolosiltite (inter-reef beds: sections D, E and H). The block diagram (Fig. 6) displays one of the overgrowth phases, but certainly similar ones have preceded and succeeded along the local stratigraphic column.

The correlations of the investigated sections are run first with the aid of the changes of the curves between A, B, C and D, E; then they are very roughly sketched on Fig. 5.

Bathymetry of the individual sections, their correlation and the integrated bathymetry of the superposed composite section

The «relative bathymetric curve» is related to the «relative bathymetric position», i.e. the relative depth and agitation of the water during the deposition of the microfacies under consideration. Textural analysis and quantitative methods for mineral and organic constituents help to decipher the relative depths and their fluctuations. Erosional or non-depositional gaps are shown by partial or total absence of the peaks of the curves, and the variations of microscopic components through the facies delimit the sequences. The reef environment under consideration has a known and definite sedimentary pattern. The depth

assignment is not derived from direct microscopic examination; basically it is quantitative, it is based upon the data of statistical analysis, paleoecology, etc. It has been shown by H. A. LOWENSTAM, et al. (13) that certain organisms had their maximum expansion at specific biohermal environments; especially they thrived at specific depth zones, such as stromatactis in quiet zone, bryozoan in semi-rough water, wave resistant corals in rough water. The index of elasticity of reworked components are inversely related with depth, but directly with agitation.

Microfacies 1: The depositional texture is compact. There is an overwhelming growth of frame-building and wave-resisting organisms. The water was clear and rough as indicated by reworked crinoids which contributed largely to the radiating talus cones. The agitation of waves and currents induced a loose framework of separate or colonial forms. Argillaceous materials are lacking in the core digitations. There is a transitory and sporadic invasion of fine quartz grains to this outward sloping shallowest environment.

Microfacies 2: This differs from microfacies 1 in having a finer texture in both organic and inorganic content. The components are not oriented as a rule. Size and frequency of crinoid fragments are of a higher rank, because of the greater competency of the semi-rough water. Disintegrated and transported crinoids behaving as clastic particles were a source of supply to build radial wedges dipping away from the core, and over the gently sloping surface of the core.

Microfacies 3: The depositional texture is finest. Tiniest particles, as well as diffused clay materials, accumulated quietly in deepest water. The large scale outflanking of facies 2 over the environment of 3 has caused a differentiation in texture, organic and inorganic components of this deepest environment: the sequence below calcarenite (D, E) is without crinoid (deeper phase), while the suite above it is admixed with crinoid (shallower phase). As quartz and crinoid are mechanically distributed, a decrease in the value of these detritals indicates a decrease in the energy of the agent of transportation in the direction of the inter-reef basin.

The above discussion sets forth an increase in relative depth from the core (bioconstructed limestone), through flank beds (calcarenite), to the basin sequence (deeper dolosiltite without crinoid and shallower dolosiltite with crinoid). Their respective qualitative values are plotted as lines of varying thickness along the right side of the sections (Plate III). Over the Fig. 5 and block diagram (Fig. 6) extensions of the core seem to be embedded in biocalcarenite tongue, which itself wedges into the basinal sequence. The general trend of the bathymetrical curves follows straight lines, and this is compatible with the pattern and evolution of the reefs.

### CONCLUSIONS

The reef limestone, megascopically, affords slight variations of texture and composition; it originated through the combination of the biohermal processes. Study by microfacies differentiation and statistical analysis of the parameters allowed a subdivision into three textural types, and so permitted differentiation and classification of a uniform sequence. This approach, contrary to the earlier conception, has definitely established two extensions of the core in the fore-reef beds. The latter, in turn, has an intertonguing relationship with the inter-reef strata, which displays a distinct organic content and related parameter values above and below the biocalcarenite wedge. The statistical consideration of the crinoids in the core extensions and in the flank rocks showed that the fore-reef sequence is not altogether derived from the destruction of the main core, but growing in situ, has received contributions from the talus cones radiating from the central mound. The amount of dolomitization seems to be proportional with the degree of comminution of the particles, but not so much related with organic remains. The depth of water increases systematically from core to basin, while the wave or kinetic energy decreases.

## BIBLIOGRAPHY

- 1 — CAROZZI, A. V. (1950): Contribution à l'étude des rythmes de sédimentation. Archives des Sciences, Genève, v. 3, pp. 17-40, 95-146.
- 2 — (1958): Micromechanisms of sedimentation in the epicontinental environment. Jour. Sed. Petrology, v. 28, pp. 133-150.
- 3 — & ZADNIK, V. E. (1959): Microfacies of the Wabash Reef, Wabash, Indiana, Jour. Sed. Petrology, v. 29, pp. 164-171.
- 4 — CUMINGS, E. R. (1922): Nomenclature and description of the geological formations of Indiana. Handbook of Indiana Geology, pt. IV, pp. 405-570.
- 5 — & SHROCK, R. R. (1927): The Silurian coral reefs of northern Indiana and their associated strata. Pro. 42nd Ann. Mt. Ind. Acad. Sc., v. 36, pp. 71-85.
- 6 — (1928) The geology of the Silurian rocks of northern Indiana. U. S. Dept. Cons., Pub. 75, pp. 226.
- 7 — ELROD, M. N. & BENEDICT, A. C. (1892): Geology of Wabash County. 17th Rept. Indiana Dept. Geol. and Nat. Res., pp. 192-272.
- 8 — GEOLOGICAL RECONNAISSANCE OF THE STATE OF INDIANA (1961): Stratigraphy of the Silurian rocks of northern Indiana. Geological Survey, Indiana Department of Conservation, Bloomington, Indiana.
- 9 — INDIANA GEOLOGIC FIELD CONFERENCE (1949): Silurian formations and reef structures of northern Indiana. Division of Geology, Indiana Dept. of Conservation, Bloomington, Indiana.
- 10 — LOWENSTAM, H. A. (1949a) Niagaran reefs in Illinois and their relation to oil accumulation. Ill. Geol. Surv. Rept. Inv. No. 145, pp. 36.
- 11 — (1949b) Facies analysis of the Niagaran rocks in Illinois. Ill. St. Sci. Trans., v. 42, pp. 113-115.
- 12 — (1952): Some new observations on Niagaran reefs in Illinois. Ill. Acad. Sci. Trans., v. 45, pp. 100-107.
- 13 — WILLMAN, BL B., & SWANN, D. H. (1956): Niagaran reef at Thornton, Illinois. Illinois State Geological Survey, Urbana, Ill.
- 14 — SILURIAN ROCKS OF THE SOUTHERN LAKE MICHIGAN AREA (1962): Michigan Basin, Geological Society, Michigan.
- 15 — TENNANT, C. B. & BERGER, R. W. (1957): X-ray determination of dolomite-calcite ratio of a carbonate rock. Am. Min. No. 1 and 2, pp. 29-30.
- 16 — WANLESS, H. R., ZIEBELL, W. C. ZIEMBA, E. A. & CAROZZI, A.V. (1957): Limestone texture as a key to interpretation depth of deposition. Congreso Geologico Internacional, XXe Sesión-Ciudad de Mexico, 1956, Sección V-relaciones entre la tectónica y la sedimentación, Promer Tomo, pp. 65-82, 9 fig.
- 17 — ZADNIK, V. E. (1958): Microfacies study of the Wabash Reef, Wabash, Indiana. Master Thesis, Univ. of Illinois (unpublished).